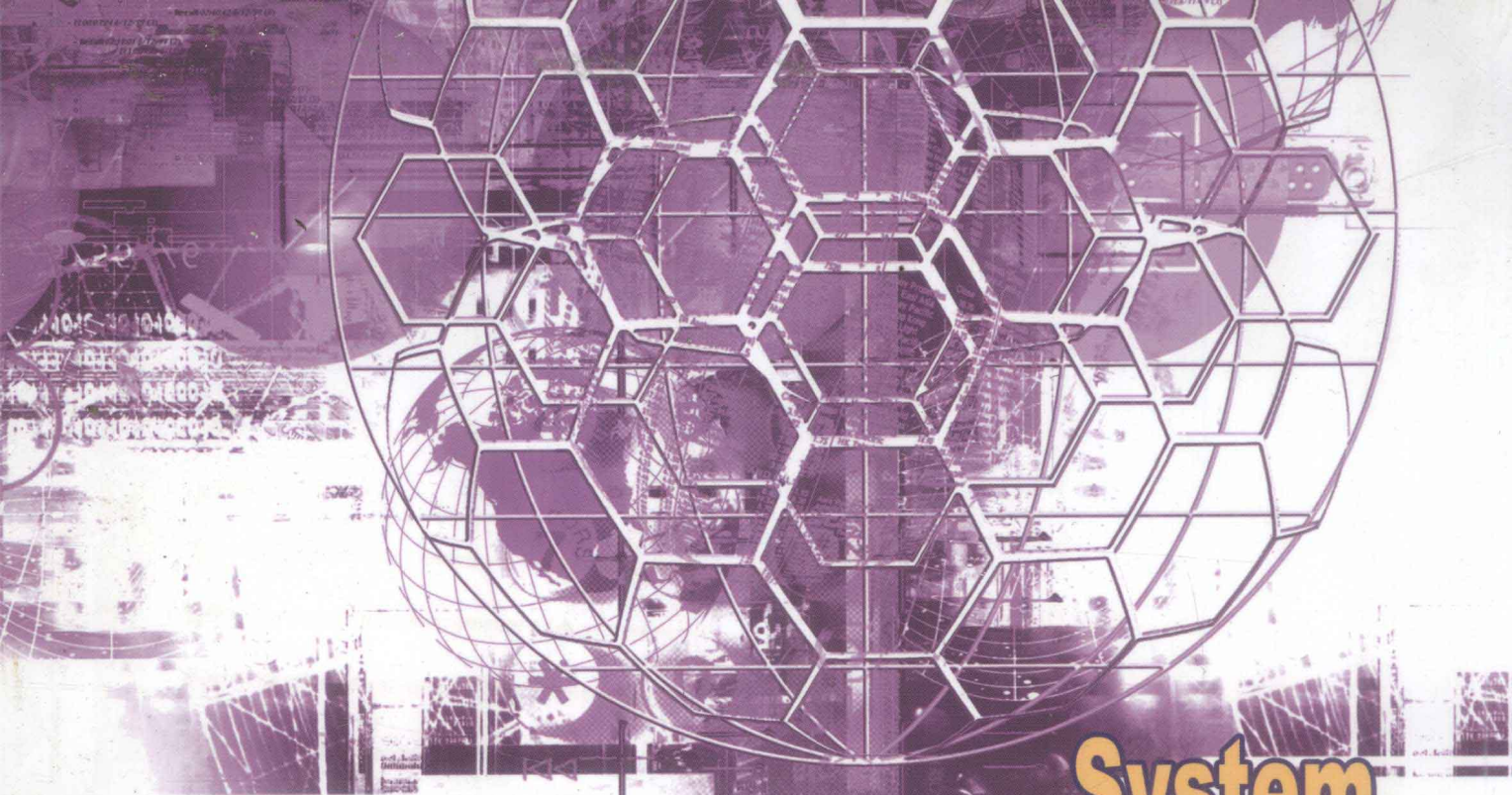




陈宗海 主编

**System
Simulation**

Technology & Application
(Vol. 12)

系统仿真技术 及其应用

· 第12 卷 ·

中国科学技术大学出版社

统仿真技术及其应用

• 第 12 卷 •

tem Simulation Technology & Application

(Vol.12)

陈京海 主编

中国科学技术大学出版社

2010 · 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于2010年8月联合组织展开的'2010系统仿真技术及其应用学术会议(CCSSTA'2010)'的论文选编。

书中收录了会议论文150篇,是近年来系统仿真科学与技术 in 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,以及建模与仿真方法、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12卷/陈宗海主编.—合肥:中国科学技术大学出版社,2010.6
ISBN 978-7-312-02719-2

I. ①系… II. ①陈… III. ①系统仿真-文集 IV. ①TP391.9-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第121978号

出版发行:中国科学技术大学出版社

社 址:安徽省合肥市金寨路96号

网 址:<http://press.ustc.edu.cn>

印 刷:合肥学苑印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:41

字 数:1480千

册 数:1~800

版 次:2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

定 价:268.00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：王正中 丛 爽 刘兴堂

肖田元 张启信 陈宗海

陈建华 孟祥萍 贾连兴

曾建潮 蔡远利 范文慧

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，第三种认识和改造客观世界的重要手段”（李伯虎院士）。随着计算机技术、通信技术等高科技的发展，以及信息产业革命的全面展开，“仿真”这个古老而又年轻的学科更加朝气蓬勃地播洒着无限青春的活力。

随着信息社会化的推进，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。这个信息社会化和高科技迅猛发展的背景，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。可见，信息时代的到来正在孕育着系统仿真科学和技术某些新的突破。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。

由中国自动化学会系统仿真专业委员会、中国系统仿真学会仿真技术应用专业委员会主办的‘2010 系统仿真技术及其应用学术会议，共收到论文 277 篇，录用 150 篇。其中，大会特邀报告 6 篇；建模与仿真技术 36 篇；系统仿真 29 篇；航天与装备仿真 43 篇；控制决策及其它 29 篇。另有两个专题：量子系统控制 2 篇；灰色定性仿真 5 篇。收录的论文涉及广泛的领域，内容丰富多彩，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

2010 年 7 月于中国科学技术大学

目 录

第一部分 大会报告

1. 我国仿真科学与技术的进展.....肖田元 (001)
2. 基于量子计算多 Agent 系统理论的人工神经网络训练方法
.....孟祥萍 魏本艳 于雪芳 苑全德 皮玉珍 (006)
3. 面向复杂产品设计的协同仿真优化理论、方法及应用.....陈晓波 李君龙 肖田元 (011)
4. 面向目标跟踪的自组织无线声学传感器网络研究.....于振华 蔡远利 (024)
5. 集中配置近程防空反导武器跟踪系统仿真技术.....毛 征 远 菲 吕春花 秦 岳 (029)
6. 脑电波的复杂度定性表达.....邵晨曦 周 颢 (034)

第二部分 建模与仿真方法

7. 雷达干扰技术建模与仿真研究的现状和发展.....朱 莹 王金广 高其娜 徐玉虎 (038)
8. 基于有限元方法的钢坯温度场可视化仿真.....闫书明 (042)
9. 脉冲防暴水炮高压气嘴流场的数值仿真.....战仁军 汪 送 (045)
10. 汽轮机调节系统仿真建模与参数辨识.....武海澄 蔡 兵 陈胜利 (049)
11. 计算机生成水面舰艇兵力综合行为建模.....姚 楠 王江云 (053)
12. 基于 MATLAB 的跳频同步仿真研究.....倪琳娜 赵振岩 于海锋 (058)
13. 虚拟全景图系统关键技术研究实现.....张 欣 武志强 刘 嵩 (064)
14. 管理活动中人群任务交互影响的模拟研究.....胡 斌 钱 任 (068)
15. 局部可调的 G^2 连续广义圆弧样条插值曲线.....王雪梅 赵欢喜 (074)
16. 高性能仿真中检查点设置研究.....王学慧 张 磊 (078)
17. 基于柔性动力学的曲轴滑动轴承润滑性能仿真.....杨守平 张付军 黄 英 赵长禄 左 哲 (082)
18. 一种改进的浮动搜索特征子集算法.....易超群 李建平 朱成文 (087)
19. 空间目标雷达散射特性仿真.....张俊华 杨 根 徐 青 (091)
20. 基于 MapReduce 云计算模型的碰撞检测算法.....赵 伟 陈承收 李立军 (096)
21. 超视距空战解析仿真模型研究.....王宗杰 沈培志 侯学隆 (101)
22. 一种环境水质的格子 Boltzmann 建模研究.....方 科 陈 锋 苏雁军 (105)
23. 广义切比雪夫滤波器快速仿真方法.....陆 彬 周邦华 (109)
24. 政治军事行为的人类动力学模式研究.....金伟新 袁文先 肖田元 李成安 (112)
25. 战场复杂光学环境构建技术.....刘昕悦 王晓曼 杨 迪 姜会林 付 强 (116)

26. 多刚体系统碰撞模型研究·····	高钦和	马志刚	李晓丽	(120)		
27. 基于功率键合图的液压系统动态特性仿真研究·····	马志刚	高钦和	李晓丽	(124)		
28. 基于可变时隙长度的 TDMA 算法·····	张翔	黄英君	骆志刚	刘建飞	张家帅	(128)
29. 多级液压缸建模与仿真方法研究·····	张凯	李锋	马长林	(132)		
30. 基于 MAT 模块的虚拟战场大气环境仿真·····	付强	姜会林	王小曼	景文博	刘昕悦	(136)
31. 空间光通信大气信道数值模拟与实验分析·····	娄岩	姜会林	陈纯毅	韩成	(140)	
32. 基于 CATIA 的液压缸三维建模和虚拟装配仿真·····	褚识广	张志利	龙勇	(144)		
33. 军用物资可视化管理信息集成结构模型研究·····	肖学福	梁英杰	刘金彪	高兵权	(147)	
34. 基于 MATLAB_Simulink 的铁路自闭/贯通线路仿真模型研究·····	李伟华	杨源	(150)			
35. 基于 PEGA 的军用港口选址模型研究·····	张传海	冯宾	薛青	曹波伟	(157)	
36. 基于数据挖掘的装备维修管理智能分析模型研究·····	曹波伟	薛青	郑长伟	于屏岗	陈辰	(162)
37. 基于 Agent 的驾驶行为建模研究·····	任晓明	薛青	于希涛	(166)		
38. 基于 Petri 网的导弹预警系统建模分析·····	罗纤夫	李艺	王小梅	(170)		
39. 智能群体的微分动力模型描述与仿真·····	曾建潮	薛志斌	(176)			
40. 基于 STK 的作战可视化仿真研究·····	王帅	陈立云	高秀峰	王峰	(182)	
41. 综合多体动力学和有限元法的摩擦片碰撞振动模拟·····	王军	(186)				
42. 视频跟踪中的局部区域差异性特征模型研究·····	赵宇宙	朱明清	陈宗海	(190)		

第三部分 系统仿真

43. 基于 VHDL 语言的水表抄表器仿真与设计·····	易景然	刘世金	(195)
44. 虚拟现实技术在医学中的应用·····	王文辉	余文兵	谭秀华 (199)
45. 基于多目标进化算法的电梯群控优化调度仿真·····	冯雷	张欣	张秀坤 (204)
46. 模块化建模思想在电力系统仿真中的研究与应用·····	汪洋	李咸善	刘刚 周军 孙梦云 (209)
47. 基于 UML 的防空作战态势可视化系统设计·····	彭颖	沈怀荣	(213)
48. MFC 框架下的 Vega 应用程序设计研究·····	邓 飙	韩传坤	龙 勇 (216)
49. 内核虚拟机调度策略的研究与分析·····	丁 涛	郝沁汾	张 冰 (220)
50. 高功率 Doherty 功率放大器设计与仿真实现·····	曾 荣	周 劼	(225)
51. 某型机射手控制盒设计与仿真实现·····	张志虎	张少贤	陈 伟 贾红光 王旭东 (228)
52. 基于组件技术的飞行仿真软件系统设计·····	朱金辉	刘登第	张志伟 袁坤刚 余伟巍 (232)
53. CATIA V5 在六自由度运动平台虚拟装配中的应用·····	盖永军	王静泉	王勇亮 (236)
54. 牵引供电扩能系统的仿真·····	严冬松	黄元亮	姚永刚 (239)
55. 基于 MapX 的二维态势显示系统设计与实现·····	方 君	张欣景	胡训强 (244)
56. 基于 VC 和 EON 的虚拟场景交互研究与实现·····	张七一	戴贤妙	李 萍 (247)
57. 基于 HLA/VR 的装甲兵作战仿真训练系统研究·····	马俊枫	张仁友	(251)
58. 飞行控制律仿真验证平台设计·····	马 力	甘 欣	朱 江 张 玲 (256)
59. 基于分布智能的防空指挥系统软件体系结构·····	蒋心晓	李新星	(260)

60. 基于 WebGIS 的雷情信息可视化发布系统设计	蒋心晓 李新星	(264)
61. 美军仿真技术发展状况研究及启示	邱宏燕	(269)
62. 高级地景库发展及实现	齐丽君 李松维 熊 壮 姚连钰	(274)
63. 一种基于多主体的 C4ISR 系统效能仿真试验评估框架	张英朝 陈 欣 蓝国兴 叶 丰	(277)
64. 基于时差定位原理的目标航迹仿真系统设计	蔺美青 苏彦华 高玉良 翁呈祥	(281)
65. 系统仿真在社会系统信息化中的应用	董淑英 王 帅	(285)
66. 激光探测系统仿真研究	远 菲 毛 征 吕春花 秦 岳 陆天舒	(289)
67. 立式连续退火炉加热段虚拟样机的开发	杨 进 李卫杰 王晓亮	(293)
68. 电力仿真技术与 SCADA 系统有机结合和改进	袁 瑶 阎凯歌 张龙斌 孟祥萍	(298)
69. LEACH 路由协议改进及仿真研究	蔡远利 于振华 周 琦	(301)
70. 基于 VR-Link 的分布式交互仿真跨平台互联方法研究	樊鹏山 张恒源 李勇涛	(307)
71. 基于战法仿真实验的综合集成研讨厅	陈建华 李刚强 潘国民	(311)

第四部分 航天与装备仿真

72. 直升机工程模拟器在飞行控制律设计和操纵品质评估中的应用	周冬萍 鄢辉萍 戚春明	(315)
73. 炮兵雷达方位标定仿真训练系统的设计与实现	单显明 夏宏森 杨鹤勇	(320)
74. 基于 OpenGL 的某型雷达瞄准镜视景仿真的实现	单显明 徐国鑫 赵志宏	(324)
75. 航空主动声纳对潜发现概率模型	侯学隆 宋伟健 徐海峰	(327)
76. 基于 Orbiter 的轨道快车建模与仿真研究	张学波 陶 青 陈海莲	(331)
77. 某型航炮炮管强度分析与仿真	王宏宇 刘 巍 吴晓中	(335)
78. 基于参数化模型的舰船作战效能仿真评估	石 峰 高兴华 方志刚	(339)
79. 基于 ABAQUS 的船舶水下声辐射仿真计算	钱德进 缪旭弘 贾 地 王雪仁	(343)
80. 信息化条件下海上编队一体化反导作战体系探讨	张永生 曹之新	(348)
81. 某型导弹模拟训练仓维修训练动作设计	张建茂 谢建华 郭希维	(352)
82. 空投 UUV 空中弹道仿真技术研究	潘 光 刘欢欢 宋保维 杜晓旭	(356)
83. 航天任务视景仿真中基于 OpenGL 的星空背景绘制	马志昊 刘海洋 杨晓丹	(360)
84. 空中模拟训练虚拟目标定位方法研究	陈 伟 张志虎 王宏宇 华 勇 王旭东	(363)
85. 基于 UPF 滤波的编队卫星相对轨道确定	张剑锋 曾国强	(366)
86. 虚拟士兵外观多样化仿真研究	卢 伟 荣 明 李小龙 王钦钊	(370)
87. 某型导弹武器系统功能检测装置设计实现	张少贤 张志虎 孙德明 陈 伟 贾红光	(374)
88. 基于 HLA 的航天飞行训练仿真系统设计研究	王宝智 周伯河 徐晓静 王 璞 张连华	(378)
89. 智能空战目标战法实现	董彦非 吴 剑	(384)
90. 装备指挥仿真构件形式化描述方法研究	刘 兵 杨晋辉 赵永朋 王 祥	(387)
91. 导弹行进间发射刚柔耦合动力学仿真	陈余军 姜 毅	(392)
92. 基于系数修正法的飞行器 RCS 仿真	李 舰 于政庆 段文义	(397)
93. 航天器紧密编队动力学模型及仿真	刘彦波 曾国强 姚 红	(402)

94. 某型飞机飞行训练模拟器飞行仿真研究···张 玲 甘 欣 陈 宁 马 力 姬 云 朱 江 (406)	
95. 自适应扬供弹系统的动力学运动学仿真·····魏志芳 (411)	
96. 装备损耗预测建模方法研究·····王建平 胡小佳 魏 华 (415)	
97. 海军航空装备作战仿真系统导控台研究·····汪兴海 王文恂 曾松林 刘 奇 (417)	
98. 天基光学空间目标监视的建模与仿真分析·····甄鸿祥 张占月 万胜辉 (421)	
99. 基于 HLA 的超实时仿真航天器故障诊断研究·····崔凯云 胡国林 (425)	
100. 某型军机基于 HLA 的仿真管理与控制系统·····姜 南 隋成城 李劲松 李宏图 (429)	
101. 美军数字化部队装备体系建设中仿真实验的应用及启示·····张 华 黄志宇 (432)	
102. 某型直升机空中特情处置模拟训练系统设计·····潜继成 魏靖彪 张焕明 (435)	
103. 基于全自主 CGF 和虚拟士兵的蓝方对抗兵力仿真·····郑长伟 薛 青 于屏岗 (439)	
104. 应用于光电对抗系统中精确制导武器仿真研究·····孙乐公 毛 征 高安洁 张 志 (443)	
105. 常规兵器定型试验中仿真技术现状及发展·····赫 赤 曹国华 董光玲 李 强 (447)	
106. 目标定向模式下的卫星姿态可视化算法研究·····刘海洋 张 鹏 (452)	
107. 坦克对抗训练模拟系统设计·····徐文超 薛 青 胡 韬 黄一斌 (455)	
108. 坦克综合训练模拟器的设计与实现·····刘永红 薛 青 (458)	
109. 浅析装甲装备保障建模与仿真技术·····胡 韬 薛 青 徐文超 黄一斌 (461)	
110. MEO-LEO 卫星网络低开销路由研究·····林琪 郭静 李智 (465)	
111. 航天器大角度姿态机动控制与仿真研究·····宋旭民 陈 勇 (470)	
112. 基于 CORBA 技术的航天器轨道预推实现方法·····来嘉哲 (473)	
113. 航天器电子干扰功能仿真设计·····汪 洲 (477)	
114. 噪声干扰器对抗舰壳声纳跟踪仿真研究·····吴 涛 陈建华 邱 旋 (482)	

第五部分 控制、决策及其他

115. MATLAB 数字仿真在高职“信号与系统”教学中的应用·····刘世金 苏 明 周君芝 (485)	
116. 数字黄柏河流域水资源 GIS 平台设计及其实现·····黄悦华 冯德鸿 孙水发 王 鸣 (488)	
117. 牵引供电串补装置优化策略分析·····黄元亮 黎兴源 (492)	
118. 基于粒子群优化的随机碰撞检测算法研究·····赵 伟 李立军 陈承收 (496)	
119. AT89S8253 单片机在导弹武器系统检测设备中的应用 ·····张志虎 张少贤 贾红光 王晓卫 陈 伟 (500)	
120. 基于无线通信技术的水环境监测及水华预警系统···戴 军 刘载文 王小艺 许继平 朱世平 (504)	
121. 粒子群与模拟退火的混合算法求解旅行商问题·····贾亚军 丛 爽 (508)	
122. 基于 LLE 和 SVM 的模拟电路软故障诊断·····刘新东 (514)	
123. 攻击机动目标的制导律研究·····张振南 李兴玮 (518)	
124. 不同蚁群优化算法在 C-TSP 中的性能对比研究·····邓 科 丛 爽 (521)	
125. 基于 G1 法确定权重的通信卫星系统作战能力评估·····曹加勇 张占月 (528)	
126. 蚁群优化算法在环形集输管网设计中的应用·····缪 娟 吴 明 (533)	

127. 基于图像融合的目标识别研究·····	王立琦	雷 洁 (536)
128. 基于个体排序的差分进化算法·····	楼 洋 李均利	陈 刚 (540)
129. 基于激光扫描仪的智能车前方障碍物检测·····	王立琦	杜 茂 (544)
130. 二相混合式步进电机控制系统反馈方式分析·····	徐文强	闫剑虹 (548)
131. 大型兵棋系统数据库中数据校验研究·····	韩志军 柳少军 刘振浩	景 民 (551)
132. 基于 RFID 的后方自动化立体仓库物资可视管理研究·····	刘金彪 梁英杰 李 欣	张扬奇 (556)
133. 一种新的二手房估价方法研究·····	李选海	程 风 (559)
134. 基于右半脸轮廓线特征的 3D 人脸识别算法·····	李晓娟 杨唐文	阮秋琦 (562)
135. 基于 multisim 的扇出系数研究·····	韩 菊	张新喜 (567)
136. 基于 AR 模型的障碍物运动预测研究·····	关胜晓 张 彦 许心德	曹 洋 (569)
137. 移动机器人避开运动障碍物的策略·····	关胜晓 许心德 曹 洋	张 彦 (574)
138. 一种混合动力汽车驱动控制研究·····	严世榕	洪 亮 (579)
139. P2P 技术在视频网格中的应用研究·····	赵 宏 尹 磊	申 超 (583)
140. 改进型 LMBP 算法在军事数据分析中的应用研究·····	云 飞 薛 青	姚义军 (587)
141. 基于自适应过程噪声分布的粒子滤波视觉目标跟踪方法 ·····	朱明清 赵宇宙 邓甜甜 王 漫	陈宗海 (591)
142. 立体匹配技术研究·····	刘晓丽 徐光柱 雷帮军 孙水发	冯德鸿 (597)
143. 关于测试性指标分配方法的思考·····		耿少锋 (603)

第六部分 量子系统控制

144. 量子系统的相干控制策略及其实现·····	丛 爽 (606)
145. 开放量子系统量子态相干保持的控制策略·····	产林平 丛 爽 (612)

第七部分 灰色定性仿真

146. 直接离散 GM(1,1)模型及其应用·····	刘 侃 田鑫鑫 林 园 尹邦坤	(619)
147. 对 D-S 证据理论几种改进方法的分析与讨论·····	马永一 沈怀荣 彭 颖	(623)
148. Mobile Robot Localization Based on Probabilistic Fuzzy System ·····	陈 硕 凌 海 陈春林	(627)
149. 基于模糊集理论和层次分析法的城市目标威胁分析·····	姚义军 薛 青 云 飞 魏 阳	(633)
150. 基于概率灰数的移动机器人推理与定位·····	王 鹏 李书杰 陈宗海	(636)

我国仿真科学与技术的进展

肖田元

(清华大学, 北京, 100084)

摘要: 本文对我国仿真科学与技术的发展进行了综述与分析, 首先对仿真的发展阶段进行概括性地说明, 然后分别对我国最新研究成果、重大成果、学术建制、人才培养、学术研究平台等方面的进展进行了综述, 并进行了国内外比较分析, 最后, 就仿真科学与技术的发展趋势进行了展望。

关键词: 仿真科学与技术; 研究成果; 学术建制; 人才培养; 学术研究平台; 发展趋势

The Progress of Simulation Science & Technology in China

Xiao Tian-yuan

(Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: In This Paper, the progress of simulation science & technology in China has been summarized and analyzed. At first, the paper introduces the phases of simulation development, then introduces the research progress, major achievements, Disciplinary Academy, Discipline Talents Training, Discipline Research Platforms, and so on in China, and presents the Comparisons of Research between China and Abroad. Finally, the Development trend and prospects of the simulation science and technology in China are discussed.

Key words: Simulation Science & Technology; Research achievements; Disciplinary Academy; Discipline Talents Training; Discipline Research Platforms; Development Trend and Prospects

1 引言

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。

仿真学科在我国是一个亟待确立的新兴学科, 为此, 在中国科协组织下, 中国系统仿真学会组织国内一批专家, 经过一年的努力, 对近些年来仿真科学与技术学科在中国的发展进行了深入的调查、研讨, 形成了“仿真科学与技术学科发展蓝皮书(2010)”。作者参加了该蓝皮书的撰写工作。根据该蓝皮书, 本文对其中的主要观点和内容进行了整理, 供广大仿真工作者参考。其详细内容, 有兴趣的读者可直接阅读蓝皮书及其附件。

2 仿真科学与技术的发展历程

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, 成为一门新兴的学科, 并已具有相对独立的理论体系、知识基础和稳定的研究对象。它的发展经历了如下几个阶段:

(1) 仿真技术的初级阶段

在二次世界大战后期, 火炮控制与飞行控制系统的研究孕育了仿真技术的发展。从20世纪40到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) 仿真技术的发展阶段

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, 而且扩展到了许多工业领域, 同时相继出现了一些从事仿真设备和仿真系统

作者简介: 肖田元(1947-), 男, 湖南祁东人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 仿真与虚拟制造, 网络化制造, CIMS。

生产的专业化公司,使仿真技术进入了产业化阶段。

(3) 仿真技术发展的成熟阶段

上世纪90年代,在需求牵引和计算机科学与技术的推动下,为了更好的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

上个世纪末和本世纪初,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。仿真技术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。

3 我国仿真学科近年最新研究进展

3.1 仿真建模理论与方法

在仿真建模理论与方法研究方面,近年来开展了大量的研究,包括连续系统、离散事件系统或混合系统、复杂系统、智能系统、复杂环境、生命系统建模等领域的建模方法,采用多智能体和基于网络建模技术等方面均取得了令人瞩目的进展,定量与定性相结合的建模与仿真已在各个应用领域获得重视。

复杂系统建模与仿真是近年来国内外研究热点。基于演化、智能科学的复杂系统的仿真/控制/优化、复杂系统的定性建模/仿真/控制/推理/可视化取得较大进展。制造系统、社会经济/环境系统、能源系统、军事系统、医学中的复杂性问题、生态系统等领域中的复杂系统建模方法的研究广泛展开。

3.2 仿真系统与技术

实时仿真算法及其有关的理论、分布式系统的实时仿真算法、定性仿真的算法和各类大系统并行算法的构造、理论及其并行效率等方面的研究取得较大进展和成果,开发出了一批面向行业和应用部门的高性能并行计算软件。

高效能计算与仿真研究取得了系列成果。数学函数库和特征值算法包 PQR 已走向国际市场;并行软件基础框架 JASMIN 和有限元支撑框架 PHG 已经得到了国内行业的认可。

已开展了各类建模仿真支撑环境与平台、大规模虚拟战场、综合自然环境建模与仿真、仿真网格/云仿真、仿真专用工具软件、嵌入式仿真技术等研究、开发与应用。

可视化与虚拟现实技术方面有长足进步,国内的输入设备的主要关键技术和技术指标达到国际水平。复杂场景数据的实时绘制达到 GB 级;绘制系统的性能和质量方面达到甚至超过国际水平。360 度裸眼三维显示装置

已经达到(部分参数上超过)公开展出的国外同类设备技术水平。新一代大视场轻型透视式头盔显示系统优于国外已有专利。

载人航天、飞行、汽车驾驶、船舶、机车驾驶等各种运载系统仿真器发展迅速,部分产品和技术已经领先于国外;在石化、电站仿真器取得了国际水平的成果;军用训练模拟器在国际上形成了有影响力的产品。

自主开发了大量的体育仿真系统,如数字化三维人体运动仿真系统、帆板帆船训练仿真系统、大型团体操演练仿真系统、数字化三维蹦床训练辅助系统、大型广场开幕式表演智能仿真编排系统等。

3.3 仿真应用工程

仿真的应用已渗入到我国国民经济的各个领域,并对我国经济、国防、科技、社会、文化及突发事件应急处理等方面作出了重要贡献。

在航空航天领域,仿真工程涉及到飞机、无人机、战略地地导弹、战术地地导弹、地(舰)空导弹、飞航导弹、卫星、运载火箭、载人飞船等应用背景,从型号的可行性论证、方案论证、系统设计、飞行试验前的动态性能检验,到飞行试验后的性能改进、故障分析、统计打靶、鉴定及训练模拟等各个阶段。

在实施信息化与工业化融合发展战略中,仿真技术成为产品设计与工艺规划、生产过程调度的有效支撑手段。面向 CIMS,研究开发了一体化仿真系统、递阶控制仿真器、加工过程仿真器等支撑系统。提出了虚拟制造体系结构,建立了支持产品全生命周期制造活动的虚拟制造平台。深入开展了虚拟样机技术研究和应用,为我国的飞机、导弹、汽车、纺织机等产品更新换代、产品结构调整做出了重要贡献。

“南水北调”是我国最大的、也是最重要的水资源调配工程,“南水北调”仿真平台,对工程关注的重大问题进行了仿真计算和试验,对于工程运行和调度方案的预演和研究,投资合理性评估,水质环境分析和引水线路沿岸环境变化的分析研究,调水区和受水区环境分析和经济效益的分析等等做出了重大贡献。

4 我国仿真学科的重大进展与重大成果

4.1 重大进展

(1) 复杂系统仿真建模理论与技术

军事系统提出了较为完整的体系概念和明确的体系建模方法,进行了信息化战争模拟理论与方法创新性研究,以该项工作为指导的“联合 99 工程”和“国防大学战争模拟实验室工程”获 2007 年度国家科技进步二等奖。

生命系统建模与仿真领域,2002 年我国首例“数字化可视人体”研究完成,使中国成为继美国和韩国之后第三

个拥有可视化人体数据集的国家,“中国数字化人体数据集的建立”获 2007 年度国家科技进步奖二等奖。

(2) 仿真计算机与软件

80 年代研制成功银河全数字仿真计算机 YH-F1, 90 年代研制成功了银河仿真 II 型计算机、银河超级小型仿真机。2003 年研制成功了基于通用计算机的 YH-Astar 高性能实时仿真平台, 达到了同期国际一流水平。并行仿真支撑环境银河速跑 (YH-SUPE) 可为分析评估论证类仿真提供高效的支撑。

(3) 仿真支撑系统与技术

KD-HLA 仿真支撑平台、SSS-RTI 和 AST-RTI、TH-RTI 等 HLA 系列支撑软件, 打破了国外仿真软件长期占据国内应用市场的局面。KD-HLA 已经在军内外 90 多家单位的分布式仿真系统中得到成功应用, TH-RTI 为我国高速动车组的自主设计开发提供了有效的支持。

COSIM-GRID、联邦式协同设计/仿真/优化一体化平台 FIA/FEI 等在体系结构、系统功能、系统性能等方面均对 DMSO 1.3 有较大突破。

我国建成了国内首个基于分布式仿真技术的“综合防空多武器平台仿真示范系统”, “基于武器平台模型的体系对抗仿真系统”成果获国家科技进步二等奖。

4.2 重大成果

(1) 仿真器与训练仿真系统

自主研发的以大中型合成氨、大型乙烯和大型炼油三大主流生产装置为主的石化装置仿真培训系统 (OTS), 在国内已经占据了绝对的市场份额, 部分产品已经出口。拥有完全自主知识产权的基于定性仿真技术开发的计算机自动 HAZOP 安全分析技术已经在神华煤制油、百万吨乙烯、千万吨炼油等国家重大石化装备上进行了应用, 并列入 2004-2010 年国家安全生产科技发展规划 100 项重点推广技术。

到 2008 年, 我国拥有的电站模拟器跃居世界首位, 而且 95% 以上都是中国自己研制和开发的, 且达到世界一流水平。具有完全自主知识产权的核电仿真平台, 在秦山、大亚湾等核电站得到成功应用, 摆脱了对国外核动力仿真技术和产品的依赖。

(2) 航空航天仿真工程

国内首台全任务型的第三代军机大型仿真系统, 其空间立体视景技术处于国际领先水平, 总体技术达到了国际先进水平, 2003 年获国家科学技术进步二等奖。

国内首台“飞机飞行作战指挥综合仿真系统”具有空中加受油、空对空、空对地和空对海的仿真功能, 还可以完成进行“人-机”、“人-人”的高层次、高智能的协同、对抗训练, 2005 年获国家科学技术进步二等奖。

中国已研制、发射和成功运行了 103 个航天器, 包

括各种卫星、载人航天的“神舟”系列的 4 艘无人试验飞船和 3 艘载人飞船, 空间探测的“嫦娥一号”, 仿真技术已应用在航天器研制及应用的全过程。

(3) 虚拟样机和虚拟制造工程

结合我国纺机产品结构调整的发展战略, 虚拟制造技术成功地实现了剑杆织机产品创新的自主开发, 实现了“两年磨一剑”跨越式发展, 并获得 2000 年国家科技进步二等奖。

基于智能计算的产品概念设计与虚拟样机技术, 成功应用于包括大功率柴油机新产品、特种车新产品、380 吨 D38 型钳夹车及大秦线 25 吨重载货车新产品、铁路信号新产品、电动滚筒新产品的设计中, 获得 2006 年国家科技进步二等奖。

(4) 工程系统建模与仿真

材料成形过程建模方法研究, 成果获 2007 年度国家科技进步二等奖。水利水电工程地质仿真建模理论与方法研究成果获 2007 年度国家科技进步二等奖。紊流模型和有限体积方法研究, 解决了几类典型的高坝水力学问题, 成果获 2008 年度国家科技进步二等奖。

(5) 体育系统仿真和数字表演

大型广场开幕式表演智能仿真编排系统应用仿真与数字表演技术解决大规模的广场表演, 大规模并行人群活动指挥控制, 大规模人群紧急疏散, 演员排练与演出等, 为 2008 年北京奥运会、残奥会开闭幕式、首都国庆 60 周年晚会和群众游行方案制定提供了有力支持。

5 我国仿真学科学术建制

5.1 仿真学术共同体已经确立

1979 年中国自动化学会系统仿真专业委员会成立, 1989 年中国系统仿真学会成立, 2000 年中国系统仿真学会加入中国科协, 正式成为一级学会。目前中国系统仿真学会下设专业委员会及分支机构 16 个, 正在筹备的 4 个, 地方学会 6 个, 每年都召开有影响力的各类学术会议。2002 年开始, 中国系统仿真学会与日、韩等国仿真学会每年组织召开一次国际仿真学术会议, 2010 年将扩大为亚洲仿真学会联盟。“系统仿真学报”、“计算机仿真”、“系统仿真技术”等学术刊物每年发表数千篇仿真技术论文, 为仿真学科形成、学术水平的提升提供了学术交流平台。

5.2 学科系统性和独立性已经形成

仿真在系统科学、控制科学、计算机科学、管理科学等学科交叉、综合中孕育和发展, 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。其学科的系统性、独立性主要表现在:

(1) 研究的对象既可以是已有的现实世界也可以是

设想的虚拟世界。研究方法是按照仿真的需求进行建模,从系统性的角度考虑各因素的交连。

(2)研究的内容是包括建立研究对象模型、构造与运行仿真系统、分析与评估仿真结果等三类活动的共性知识,已形成独立的知识体系。

5.3 学科建设

中国系统仿真学会从2004年开始组织领域专家对仿真学科的内涵、研究对象与研究内容,学科的理论基础、知识基础、方法论、学科结构、学科课程体系等进行了深入的研究与凝练,对国内外仿真人才的培养模式、社会对仿真人才的需求等进行了广泛调研。多次组织了相关学科的院士、知名专家、学者就仿真学科建设进行了专题研讨和沙龙论坛。

研究结果表明,仿真学科作为一级学科的条件已经成熟,仿真学会向教育部提交了“设置‘仿真科学与技术’一级学科的建议书”,建议在我国高等教育设置“仿真科学与技术”一级学科。

6 我国仿真学科人才培养

系统仿真学会组织对1998~2007年中国期刊网的中国博士学位论文全文数据库、中国优秀硕士学位论文全文数据库等进行检索,结果表明,近十年来,属211工程的107所大学培养的与仿真技术相关的优秀硕士生占14.2%,博士生占18.4%。属985计划的38所大学培养的与仿真技术相关的优秀硕士生占17.5%,博士生占25.1%。部分军队院校还设立了“军用仿真工程”本科专业。通过检索PQDD数据库,国内211工程107所及985计划38所大学总计培养与仿真技术相关的研究生数达18.8%,已经超过国际平均水平(13.6%)。

仿真广泛支持着各个学科的研究工作,调查结果表明其覆盖领域十分广泛,排在前10位的是信息领域、航空航天领域、工业领域、国防军工领域、基础科学研究领域、能源领域、农业领域、生命医学领域、交通领域与环境领域。

对8个省(市)16所高校近10年教师队伍及培养研究生抽样调查表明,从事仿真研究与教学的教授、副教授达平均24人/大学,已经毕业仿真学科方向的博士平均36人/大学,在读博士平均22人/大学,已经毕业的硕士平均116人/大学,在读硕士平均38人/大学,表明我国培养仿真学科人才的师资已具规模,已经并正在培养的仿真学科人才已具规模。

7 我国学科研究平台

各高等学校、科研院所建立了一批仿真研究与应用实验室和工程研究中心,它们体现了当前我国仿真学科

研究平台的规模和研究水平。

国家级重点实验室或工程研究中心:如大气科学和地球流体力学数值模拟实验室、电力系统及发电设备控制和仿真实验室、汽车动态模拟实验室、虚拟现实技术实验室、北京仿真中心、环境模拟与污染控制联合实验室、国家CIMS工程技术研究中心和经济领域系统仿真技术应用国家工程研究中心等。近年来共获得国家级和省部级奖励111项,发明专利7项。

属于省部级重点实验室或具有行业特色的实验室的如:北京卫星仿真中心、航海动态仿真与控制实验室、航运仿真中心、国家电网仿真中心、邮电大学大规模系统仿真中心、体育系统仿真开放实验室、教育部计算机仿真和模拟系统工程研究中心、中石化燕山仿真培训中心。它们分布在航天、航海、航运、电网、通信、化工、体育、教育等重要领域,为各所属领域的快速发展和人才培养做出了重要贡献。

8 国内外仿真研究进展比较

在仿真建模理论与方法方面,国内外研究的主体内容基本一致,在热点难点问题上,国内原创性成果不够突出,但复杂系统建模仿真的理论与方法的部分研究成果与国际水平持平或略有超前。

在仿真系统与技术方面,我国仿真系统理论的研究总体上处于国际先进水平,但软件工程的思想、方法和技术在仿真系统研究与开发中仍没有得到足够的重视,影响了仿真产业的发展。网络化仿真技术在我国已经取得长足进步,国内已经成功开发多个网络化仿真系统及其支撑平台,在体系结构方面有所突破。我国虚拟现实(VR)技术覆盖了该领域的主要研究方向,但技术的原创性与国外相比仍有较大差距。在服务化仿真技术方面我国的研究处于国际先进水平,但在标准和规范的研究与制订方面有待加强。我国成为继美国之后世界上第二个能够研制千万亿次超级计算机的国家,但高性能仿真技术领域的研究与应用水平我国与发达国家仍有不小的差距。

仿真科学与技术已经成功地应用于我国航空、航天、军事、医学、信息、生命科学、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、交通、经济、社会服务和娱乐等众多领域的系统论证、试验、分析、维护、辅助设计及人员训练等方面,其成效十分显著,影响也很大。但与国外相比,在应用广度、深度,以及社会对其认同的程度还有待加强。

9 我国仿真学科发展趋势及展望

仿真已经发展形成了综合性的专业技术体系,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、服务化、普适化”为特征的现代化方向发展,有 8 个方面值得特别关注,即网络化建模仿真、综合自然/人为环境的建模与仿真、智能系统建模及智能仿真系统、复杂系统/开放复杂巨系统的建模/仿真、基于仿真的采办与虚拟样机工程、高性能计算与仿真、基于普适计算技术的普适仿真,以及嵌入式仿真。

仿真科学与技术的发展将为我国走“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”,实现我国可持续发展战略作出重要的贡献,成为支撑我国发展的战略性技术之一。

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、仿真应用等方面将做出创新性贡献,为推动我国的国民经济和国防现代化、科学与社会的发展做出新的努力。

参考文献

- [1] 中国系统仿真学会学科设置建议工作组. 设置“仿真科学与技术”一级学科建议书[R]. 2009.2
- [2] 中国科学技术学会, 学科发展报告综合卷(十四), 仿真科学与技术(2009-2010), 2010.4
- [3] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 13(1), 1990: 3~10
- [4] 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[J]. 系统仿真学报, 16(9), 2004: 1871~1878
- [5] 王子才. 仿真科学的发展及形成[J]. 系统仿真学报, 17(6), 2005: 1279~1281
- [6] 中国优秀硕士学位论文全文数据库, <http://epub.edu.cnki.net/grid2008/index>
- [7] 中国博士学位论文全文数据库, <http://epub.edu.cnki.net/grid2008/index>
- [8] 世界著名的学位论文数据(PQDD), <http://proquest.calis.edu.cn/umi/index.jsp>
- [9] 戴汝为, 李耀东. 基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性[J]. 复杂系统与复杂性科学, 1(4), 2004: 1~24
- [10] 王子才, 王勇. 复杂系统仿真概念模型研究进展及方向[J]. 宇航学报, 28(4), 2007: 779~785
- [11] 陈竺. 中国生命科学的现状与展望 http://www.china.com.cn/zhuanti2005/txt/2004-03/23/content_5521943.htm
- [12] 胡晓峰, 司光亚, 罗批等. 战争复杂系统与战争模拟研究[J]. 系统仿真学报, 17(11), 2005: 2769~2774
- [13] 姚益平, 蒋志文, 鄢来斌, 李钢. YH-AStar 高性能实时仿真平台. 2003 全国仿真技术学术会议论文集, 2003
- [14] 李伯虎, 柴旭东, 侯宝存等. 一种新型的分布协同仿真系统——“仿真网格”[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(20)
- [15] 肖田元. 虚拟制造. 清华大学出版社, 2004, 08

基于量子计算多 Agent 系统理论的人工神经网络训练方法

孟祥萍¹ 魏本艳² 于雪芳³ 苑全德¹ 皮玉珍¹

(1.长春工程学院电信学院, 吉林, 长春, 130012; 2.东北电力大学信息工程学院, 吉林, 132012; 3.东北电力大学电气工程学院, 吉林, 132012)

摘要: 人工神经网络是可用于建模、探讨各种复杂非线性现象的强大工具。本文提出了一种新的基于多 Agent 系统理论(MAS)和量子算法的人工神经网络。在该人工神经网络中所有节点都为有学习能力的量子计算 Agent(QCMAS)。通过训练 QCMAS 强化学习, 提出了新的人工神经网络训练方法。新的人工神经网络具有强大的并行工作能力而且它的训练时间比经典算法短, 实验结果证明了该方法的有效性。

关键词: 人工神经网络; 多 Agent 系统理论; 量子学习; 量子计算

A Novel Artificial Neural Network Training Method Based on Quantum Computational Multi-Agent System Theory

Meng Xiang-ping¹ Wei Ben-yan² Yu Xue-fang³ Yuan Quan-de¹ Pi Yu-zhen¹

(1.Changchun Institute of Technology, Department of Electrical Engineering, Jilin, Changchun, 130012)

(2.Northeast Dianli University, Information engineering institute, Jilin, 132012; 3.Northeast Dianli University, Electrical engineering institute, Jilin, 132012)

Abstract: Artificial Neural Networks are powerful tools that can be used to model and investigate various complex and non-linear phenomena. In this study, we construct a new ANN, which is based on Multi-Agent System (MAS) theory and quantum computing algorithm. All nodes in this new ANN are presented as Quantum Computational (QC) agents, and these agents have learning ability. A novel ANN training method was proposed via implementing QCMAS reinforcement learning. This new ANN has powerful parallel-work ability and its training time is shorter than classic algorithm. Experiment results show that this method is effective.

Key words: ANN; Multi-Agent System (MAS); Q-learning; Quantum Computing

1 引言

人工神经网络是近年来出现的且被广泛接受的, 在许多科目中用于把复杂实际问题模型化的强大的计算建模工具(Ge, Lee and Harris, 1998; Zhang and Je, 2004)。人工神经网络被定义为由密集连通的且相互适应的简单数据处理元素(即人工神经元或节点)组成的结构, 这些结构可执行大量的数据计算和知识表示(Zhang, Zhang and Xiao, 2000; Quan and Zhang, 2001; Inan and Elif, 2005;

Sonmez and Gokceoglu, 2006)。尽管人工神经网络与较抽象的生物体相对应, 但是人工神经网络的方法不只是重复生物系统的活动而是利用已知的生物网络函数解决复杂问题, 人工神经网络已经取得了巨大的成功, 然而还是有一定的局限性(Ge, Lee and Harris, 1998; Zhang and Je, 2004; Zhang and Meng, 2004)。例如:

(1)多数人工神经网络都不是分布式的, 因此它的节点或神经元不能并行工作;

(2)训练时间长;

(3)节点数目受计算机能力限制。

为了解决上述问题, 我们重新构造一种由量子计算 Agent组成的基于量子计算多 Agent 系统的人工神经网络

作者简介: 孟祥萍 (1961-), 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为从事智能控制理论及应用、过程控制、优化方法和计算机应用; 完成多项中国博士后科学基金、吉林省科技厅科研项目、吉林省教育厅科研项目、国家自然科学基金等省部级以上课题和横向课题。

(QCMAS; Klusch, 2003)。

多Agent技术是人工智能近年来的研究热点。单Agent定义为现实世界的一个自然体。量子计算能同时并行处理数量巨大的量子状态(“量子并行”)。理论上,量子计算能处理在 $2N$ 搜索空间(在 N 比特串中)所有可能的节点。如果 N 比较大,则 $2N$ 是巨大的,使得系统的搜索与计算机是不可能匹配的。量子搜索被证明速度比较快可以和计算机搜索相匹配。在某些情况下,通过正确设计和整合,基于量子计算的多Agent系统拥有比任何多Agent系统的更强大的计算能力。

在文中,我们提出了一种新的方法来建立和训练人工神经网络,这种新方法是基于量子计算多Agent系统理论和强化学习算法的。在新的人工神经网络中,所有节点都为量子计算Agent,而且这些量子计算Agent通过强化学习算法后具有学习能力。我们用QCMAS强化学习算法作为新的神经网络的学习规则。

2 相关工作

2.1 量子计算

2.1.1 量子位

量子信息的单位为量子位(qubit)。量子位是一个双态量子系统,它可以处于两个基态的叠加态(阿哈诺夫, 1998; Benenti和卡萨提, 2005):

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (1)$$

式中 α 和 β 是复系数; $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 与位0和1对应;当 $|\psi\rangle$ 可测量且测量结果不确定时 $|\alpha|^2$ 和 $|\beta|^2$ 分别代表 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 当前的概率;经典比特值不是0就是1,但是量子位可以同时是0和1,这是经典计算和量子计算的主要区别所在。

2.1.2 状态变换

Walsh-Hadamard变换(或H-门)是最常用的量子门之一,记为

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过H-门,单量子态 $|0\rangle$ 可用两个量子态的叠加表示,即 $H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$,同样地,单量子态 $|1\rangle$ 通过H-门,转换成叠加态的形式为 $H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$,在每个本征态($|0\rangle$ 和 $|1\rangle$)的概率振幅都是 $1/\sqrt{2}$,而 $|1\rangle$ 振幅的相对 $|0\rangle$ 振幅的相而言恰进行了180度旋转。在经典的概率算法中,由于在量子力学中振幅通常是复数,所以相没有相似物。现假设有 n 个量子位的量子系统,那么有可能存在 2^n 个状态。如果给所有状态开始时赋予相同的叠加权值,最初让每个量子位为状态 $|0\rangle$,再通过对每个量子位独立连续地执行Hadamard变换,这样就可以改变系统的状态。执行上

述转换的状态转换矩阵是 $2^n \times 2^n$ 维,并且这种转换可用 n 个并联的H-门实现,这个过程可以表示如下:

$$H^{\otimes n} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \dots 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{a=00\dots 0}^{11\dots 1} |a\rangle \quad (3)$$

2.1.3 格罗弗的搜索算法

格罗弗的搜索算法是以搜索非结构化的 $N = 2^n$ 组数据库而众所周知的,这些组数据对,每组数都有精确标记。

一般情况下,这个过程涉及查询数据库,最好的情况只需一次而最坏的为 N 次,这样平均为 $N/2$ 次。即一般的搜索次数为 $O(N)$ 而且需要是结构化数据库(格罗弗, 1996)。格罗弗的算法对搜索算法进行了改进,搜索次数为 $O(\sqrt{N})$ 且对结构化和非结构化数据库都适用。

众所周知,在测量中得到某一向量的叠加结果的概率是该向量标准振幅的平方值。格罗弗通过叠加 n 个量子位与 ϕ 表示出了在 $\{0,1\}$ 上所有数,并改变它们的振幅这样在测量中从 L 中找出一个元素的概率就接近1。为了达到该目标,创立了 n 个量子位在有相同振幅的元素里的叠加。接着交替应用下列操作:

(1) L 中所有元素的振幅设为0;

(2) 所有元素的振幅设为所有振幅的平均值。

上述这两个操作一起被称为格罗弗操作。其他的基本操作所需要的是执行格罗弗标准的重要元素的条件相移操作。基于量子信息理论,这种变换可以在量子计算机上有效地执行。条件相移操作不改变每一个状态的概率因为在每一个状态下振幅值绝对值的平方保持不变。

2.2 量子算法

当前关于量子计算的兴起很大程度上是由于发现量子计算机比经典计算机更容易解决某些问题(在计算复杂性方面)。一些著名的量子算法在获得解决方案方面体现出较高的效率。最著名的基于傅里叶变换的量子算法FACTORING,该Shor's算法的计算时间为 $O(n^2 \log n \log \log)$ (Shor, 1994)。曾经最好的经典算法与FACTORING算法相比也慢的多,它需要时间为 $O(\exp(cn^{1/3} \log^{2/3} n))$ 。格罗弗的搜索算法(Grover, 1997)是依据Shor和Grover两种技术整合而成:量子快速变换和振幅扩大(Grover, 1998),且该算法的两种技术分别在未分类的数据库中完成二次加速的搜索,要由于最著名的经典算法。而且也证明它的实验执行结果用了核磁共振光谱学和量子光学。一些研究人员通过研究量子力学和计算机的关系,提出几种量子强化学习算法(Dong and Chen, 2005),以期有效地找到一种折中的探究通过应用格罗弗操作强化某些行为。