

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计算机与软件专业委员会

'2003 学术论文集 (第五卷)

系统仿真技术及其应用

System Simulation Technology & Application

(Vo1. 5)

陈宗海 主编

中国科学技术大学出版社



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计算机与软件专业委员会

2003 学术论文集（第五卷）

系统仿真技术及其应用

System Simulation Technology & Application

(Vol. 5)

陈宗海 主编

中国科学技术大学出版社

2003 · 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计算机与软件专业委员会于 2003 年 7 月联合组织的'2003 系统仿真技术及其应用学术交流会的论文选编。

书中收录了会议录用论文 115 篇,是近年来系统仿真技术在航空、航天、石油、化工、能源、国防、轻工等领域中应用的最新成果,以及建模与仿真方法的最新进展。

本书可供科研、设计部门和厂矿企业中系统仿真技术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 5 卷/陈宗海主编.—合肥:中国科学技术大学出版社,2003.8
ISBN 7-312-01617-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 62337 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:41.5 字数:1150 千

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-312-01617-0/TP·326 定价:150.00 元

《系统仿真技术及其应用》编委会

主 编：陈宗海

副主编：王正中 屠仁寿

编 委：王正中 李伯虎

肖田元 吴连伟

沈 廉 陈宗海

汪增福 屠仁寿

写在卷首

随着新世纪的到来，近代计算机技术、通信技术等高科技的发展，伴随的信息产业革命已经初现端倪。信息时代的曙光，使“仿真”这个古老而又年轻的学科更加朝气蓬勃地播散着无限青春的活力。

信息社会化的进程，迫使系统仿真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，信息时代的来临正在孕育着系统仿真方法学某些新的突破。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技术工作者付出艰辛的劳动，使仿真这门迄今为止最有效的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。

由中国科学技术大学自动化系承办，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计算机与软件专业委员会主办的‘2003 系统仿真技术及其应用学术会议，共收到论文 143 篇，录用 115 篇。其中，大会报告 6 篇；建模与仿真技术 35 篇；系统仿真 25 篇；航天与装备仿真 23 篇；控制决策及其它 26 篇。收录的论文涉及广泛的领域，内容丰富多彩。这次学术交流，无疑将对我国系统仿真学科和仿真技术的发展起到有效的促进作用。

编委会

2003 年 7 月于中国科学技术大学

目 录

一、大会报告

1. 基于演化的复杂系统建模与仿真研究.....	王正中	(001)
2. 人工神经网络在系统控制和建模中的应用综述.....		
..... 张海涛 陈宗海 向 微		(010)
3. 基于复杂性科学的综合集成研讨厅研究现状与发展.....	赵德勇 刘建国	(023)
4. 量子控制研究综述..... 陈宗海 董道毅	张陈斌	(031)
5. 多层多视多体建模方法研究..... 金伟新 肖田元		(052)
6. 基于网络的分布式仿真研究..... 刘云生 张传富 张 童 查亚兵		(058)

二、建模与仿真技术

7. 一种新型对称小波的构造方法及仿真实验.....	甄 岩 邵方明 赵连昌	(063)
8. 基于代理的分布式视频流点播传输策略.....	周建政 蒋建国 齐美彬	(069)
9. 激光三维扫描系统重建有限元仿真模型.....	张美超 赵卫东 李鉴轶	(076)
10. 基于虚拟环境的摄像机定标中的矩阵研究.....		
..... 刘吉成 汪 熙 王 仲 刘爱勇		(079)
11. 飞行任务仿真可视化.....	马志昊 王跃峰	(085)
12. 弹性导弹侧向运动建模.....	张友安 吴建刚	(090)
13. 基于 UML 的维修人力需求分析过程建模.....	杨 军	(095)
14. 战备完好性模型分析..... 马维斌 陈东林 董彦非		(100)
15. 分布异地 HLA 对象模拟协同建立技术的研究.....	代建民 齐 欢 刘云峰	(105)
16. 重油不完全再生 FCCU 建模与仿真.....	杨明辉 田学民 史永刚	(110)
17. HLA 中 OM 的研究与应用.....	张 霞 黄莎白	(116)
18. 飞行控制系统仿真建模中的计算精度分析.....	陈丽容 姜湘岗	(121)
19. 维修技术指令的验证仿真..... 朱兴动 黄 葵 王 正		(125)
20. 基于 Padé 逼近 NILT 算法的线形定常系统时域离散模型.....		
..... 余志勇 许化龙 刘光斌		(130)
21. 全计算机化雷达模拟器岸线回波图像的随机分形生成算法.....		
..... 刘 丹 金一丞		(136)
22. 含多级油缸的液压系统动态特性建模与仿真研究.....	高钦和 郭晓松	(140)

23. 柔性的排队仿真系统研究·····	申利民	牛景春	(145)
24. 多传感器声目标异步数据生成仿真研究·····	贺 勤	薛安克	(150)
25. 某型履带车辆整车系统的建模与仿真·····		王 军	(158)
26. 作战仿真中 C ³ I 系统的建模与仿真研究·····	孙文杰 魏现杰	卞真林	(163)
27. 像素——仿真法在地地战役战术导弹目标毁伤中的应用·····			
·····	李汶远 蔡为民	王汉义	(168)
28. GA 早熟问题的定量分析及其预防策略·····	汪民乐	高晓光	(173)
29. 船舶喷水推进系统仿真模型研究·····	刘 强 陈华清	敖晨阳	(178)
30. 基于图像灰度特征的全景图像拼接·····	胡社教 陈宗海	刘年庆	(183)
31. 主动轮廓线模型的算法综述·····	陈会勇	陈宗海	(190)
32. 复杂海区的三维声线轨迹可视化仿真·····			
·····	南明星 笪良龙 卢晓亭	李玉阳	(198)
33. 连续系统微分方程的计算机仿真分析·····	郑亚民	蒋保臣	(203)
34. 作战模拟中的战场电磁环境仿真研究·····	方胜良 曹志耀	王 玮	(208)
35. 基于小波域 HMT 的航空侦察图像去噪方法·····	王 文 康锡章	王晓东	(212)
36. HLA 仿真系统的 VV&A 过程模型·····	曹星平 冯润明	黄柯棣	(218)
37. 基于灰色定性仿真的故障诊断理论·····	黄元亮	陈宗海	(223)
38. 过程建模与控制实验平台的研究·····	王 雷	陈宗海	(229)
39. 《定性仿真中摆动变量的研究》的一个注记·····			
·····	段家庆 黄元亮 王 雷	陈宗海	(237)
40. 复杂未知环境下移动机器人自主探测算法研究·····			
·····	周光明 陈宗海 胡玉锁	陈春林	(243)
41. 杂可维修系统可靠性建模与仿真·····		马绍力 林武强	(250)

三、系统仿真

42. 基于 HLA 的综合电子战仿真系统设计·····	张 涛 吴 京 周一宇	安 玮	(257)
43. 钻柱扭转振动计算机仿真·····	吴泽兵 罗宇义	郑兴华	(263)
44. 高技术战争军事力量结构分析与评价·····	马维斌	陈东林	(268)
45. 反应管传热动态特性仿真研究·····	胡益锋	徐用懋	(274)
46. 装备保障系统综合集成研讨厅体系研究·····			
·····	刘建国 赵德勇 范 亚	王京俊	(279)

47. The Advantages of High Level Architecture and a Simulation Application Development···	吴义明	齐欢	(286)
48. 计算机作战模拟的发展方向——HLA·····	唐克	杨明	(291)
49. 模拟训练回放系统设计·····	王钦钊	朱竞夫	王春忠 (295)
50. 车辆驾驶仿真与监控系统的设计·····	吕江英	刘肖琳	贺汉根 (299)
51. 联合火力打击中航空兵对地火力突击作战方案模拟生成系统的设计·····	叶东	马亚平	(304)
52. 基于 UDP 的实时监视系统的设计与实现·····	张少锋		(310)
53. 动态环境下捷联惯性导航系统的仿真研究·····	张丽玲	余杨	张洪钺 (315)
54. 基于嵌入式 CLIPS 的导弹通用仿真测试系统研究·····	张蔚	梁加红	马国力 (322)
55. 与 STK 软件实现系统集成·····	廖守忆	戴金海	(328)
56. 虚拟样机生成系统的研究·····	郑晓曦	吴今培	孙国正 (332)
57. 基于 SimGVS 的虚拟环境漫游系统·····	孟晓梅	侯学隆	刘文庆 (338)
58. AFT07 反坦克导弹射击训练专家系统的设计与实现·····	段振国	江永政	卞真林 (342)
59. 高级虚拟仿真开发类库 SimGVS 设计与实现·····	刘文庆	孙迈	孟晓梅 (350)
60. 基于进化神经网络的股票市场智能仿真预测·····	高玮		(356)
61. 基于 Runge-Kutta 法的连续变结构系统计算机仿真·····	黄凯	吴汉松	陈少昌 (364)
62. 定性仿真在科技评价体系中的应用初探·····	朱乃波		(369)
63. 实时操作系统 SACOS 的时间开销测试·····	王玉媛	桂先洲	(372)
64. 量子信息系统仿真·····	陈宗海	张陈斌	董道毅 (376)
65. 网络仿真及其应用·····	刘复岩	吕韶义	(382)
66. 复杂系统仿真的前端智能化综述·····	杨阳	陈宗海	张海涛 (386)

四、航天与装备仿真

67. 扩展卡尔曼滤波器在导弹制导系统中的应用与仿真·····	余跃	刘藻珍	(397)
68. 坦克火控系统目标自动跟踪仿真研究·····	朱竞夫	王春忠	王钦钊 (401)
69. 多目标攻击中目标威胁评估的模糊综合评判·····	韩统	董彦非	魏贤智 (405)
70. 某型坦克炮控系统的建模分析·····	朱昀炤	李匡成	周战馨 (409)

71. 装备战场损伤研究中的威胁模型研究·····	范 亚 刘 菡 赵德勇	(414)
72. 基于 MATLAB/SIMULINK 的图像制导航弹仿真建模·····	聂宜云 刘永善	(421)
73. 激光架束炮射导弹射击命中概率仿真研究·····	赵碧君 荣 明 李小龙	(426)
74. 坦克单车模拟器驾驶节点仿真模型和实现·····	王春忠 王力猛 朱竞夫	(431)
75. 反坦克导弹作战系统作战仿真研究·····	方前进	(436)
76. 反舰导弹对多层防空体系的突防模型研究·····	李 彪 杨学会 张金春	(440)
77. 航天装备体系作战效能建模与仿真方法·····	沈如松 张育林	(445)
78. 高炮反巡航导弹仿真系统·····	牟大伟 蔡 涛 窦丽华	(450)
79. 某型地地战役战术导弹突防仿真研究·····	张莉英 王 辉 张启信	(456)
80. 侵撤子母弹对机场跑道封锁的毁伤仿真研究·····	王 辉 张莉英 张启信	(461)
81. 某型地空导弹指挥系统作战软件的仿真设计·····	朱少卫 张志虎 徐彦明	(467)
82. 某型地地战役战术导弹机动发射装置快速抢修系统的设计与实现·····	刘世敏 霍俊秀 卞真林 遇 宏	(471)
83. 便携式地空导弹简易瞄准训练弹“电子导引头”的实现·····	张志虎 徐彦明 朱少卫	(477)
84. AFT07 反坦克导弹全数字模拟训练器设计与成绩评定的实现·····	段振国 江永政 刘亚滨	(480)
85. 地地战役战术导弹武器系统仿真方案设计与实现·····	张启信 张莉英 王 辉	(486)
86. HLA 在空间对抗模拟系统中的应用研究·····	庄锦山 韩 乐	(491)
87. 航天发射控制系统试验指挥训练仿真平台研究·····	黄文清 赵瑞萍	(496)
88. 基于 HLA 的分布式虚拟战场环境仿真·····	袁桂平	(500)
89. 基于多 Agent 的装备保障仿真的研究·····	徐豪华 王精业	(505)

五、控制决策及其它

90. 用 VHDL 设计电子密码锁及问题分析·····	韩 菊 王万海	(511)
91. 虚拟环境中碰撞检测问题的分析与智能虚拟人控制的研究·····	周颖慧 邹沐昌 荆 雷	(517)
92. 用仿真方法研究被控系统用 PID 校正时的参数整定·····	张新燕 黄埔海燕	(523)
93. 基于对角递归神经网络的智能 PID 控制·····	仇宝玉 吴志敏	(526)
94. 基于 HLA 的企业生产链管理仿真研究·····	晏春平 齐 欢 吴义明	(532)

95. 某卫星天线双轴定位机构建模、控制与仿真研究.....
..... 杜云飞 李长江 廖 瑛 冯向军 (537)

96. 基于模糊变结构的机器人自适应神经网络控制..... 陈卫东 唐得志 王洪瑞 (542)

97. 前馈神经网络快速学习算法及应用..... 仇宝玉 陈义俊 (548)

98. 基于模糊观测器的不确定机器人滑模变结构控制.....
..... 陈卫东 王海涛 王洪瑞 (552)

99. 导弹过载反演控制系统设计..... 胡云安 陈 晔 (558)

100. 数据手套的超声定位..... 姜逸山 张文龙 (563)

101. 舰艇声纳作用距离评估系统研究..... 陈建华 曹之新 (569)

102. 基于改进 BP 算法的非线性广义预测控制器..... 胡玉娥 丁淑萍 (574)

103. 基于 C-R 模糊模型的广义预测控制设计与仿真..... 王 莉 肖 军 (579)

104. 电机智能故障诊断系统的设计与实现..... 钱卫香 (583)

105. 基于 ActiveX 组件的 RTI 编程接口.....
..... 刘文庆 孙 迈 孟晓梅 马 利 (589)

106. Tick 与 RTI 线程模型对成员的影响..... 张 柯 邱晓刚 (595)

107. 基于行为的移动机器人噪声影响研究..... 任 焱 陈宗海 周光明 (601)

108. 一类火车最佳控制方案的存在性和唯一性的讨论..... 黄元亮 陈宗海 (608)

109. 移动机器人的传感器数据融合..... 卓 睿 陈宗海 陈春林 (613)

110. 车牌分割中的阈值选择策略..... 江 萍 (621)

111. 基于边缘检测与霍夫变换的车牌分割..... 徐晓冰 袁先彪 王 健 (626)

112. 仓库管理系统的研制..... 袁先彪 史靖宏 王 健 (631)

113. 基于混合径向基神经网络的逆模控制.....
..... 向 微 陈宗海 张海涛 秦 廷 王 雷 李 明 (635)

114. 一种新型联想记忆神经网络在非线系统辨识中的研究.....
..... 孟凡华 吴学礼 杜太行 (641)

115.谈研究与开发的信息披露..... 江又明 (646)

基于演化的复杂系统建模与仿真研究

王正中

(北京信息与控制研究所, 北京)

摘要: 系统仿真技术正面临着新的挑战, 即: 如何建立基于演化的复杂系统动力学的建模与仿真方法学。本文讨论和综述了这一领域目前的工作和发展, 主要内容包括: 复杂性问题的提出;

主要命题: 复杂系统的动力学特征; 复杂系统建模与仿真的理论研究、方法和软件。

关键词: 复杂性; 复杂系统; 动力学; 演化; 建模; 仿真

The Study of Complex System Modeling and Simulation on Evolution Base

WANG Zheng-zhong

(Institute of information and control, Beijing)

Abstract: The system simulation technology is facing a new challenge today, That means how to create the methodology of modeling and simulation of complex system on an evolution base. In this paper, The state and development of this field is discussed and reviewed. Including: The issue major of complexity problem; The characteristic of complex system dynamics; The theory, method, and software of complex system modeling and simulation.

Key words: Complexity; Complex system; Dynamics; Evolvment; Modeling; Simulation

1 “复杂性”研究与复杂系统仿真

“复杂性”的提出起源于二十世纪初对理论生物学的研究。1928年, 奥地利生物学家贝塔朗菲(L.V.Bertalanffy)在其《生物有机体》论文中首次提出了“复杂性”的概念。他指出: 除了物理学和还原论, 还有出现在生物学、行为科学和社会科学领域中的问题和思维形式, 也应同等加以考虑。当代技术和社会的复杂性使得传统的方法和手段已不够用了, 需要探索整体的和更一般本质的研究方法。这里提出了一个新的命题, 即物理学和还原论不能解决生物学、行为科学、社会科学等一类复杂性问题。必须用新的方法—整体论的方法去研究它。所以复杂性研究的第一个命题就是整体论(Hollism)和还原论(Reductionism)的关系问题。

复杂性研究提出的第二个命题是时间的可逆性与不可逆性问题。1948年, 维纳(N.Wiener)发表了专著《控制论》, 实质上是讲述物理系统与生命系统(或生物有机体系统)之间的关系, 在《控制论》第一章, 维纳就提出并讲述了柏格森时间问题, 柏格森是19世纪末自然哲学家, 柏格森认为: 物理学的时间和进化论与生物学的时间不同, 前者是可逆的, 后者是不可逆的。维纳指出: 能够和我们通信的世界, 其时间方向与我们相同。时间不可逆性是“复杂性”研究的另一个重要命题。传统科学是基于决定论的, 认为只有永恒的定

律才被看作是科学理性的表示，世界由一些时间可逆的定律所支配，“复杂性”研究的结果则表明，“可逆性和决定论只适用于有限的简单情况，而不可逆性和随机性却在客观世界中占统治地位”。所以“复杂性”研究是基于进化论的。

“复杂性”研究提出的第三个命题是有序和无序的关系问题。传统科学把世界描绘为从复杂到简单，从不对称到对称，从有序到无序。然而生命科学、社会科学、进化论却表明了世界从简单到复杂，从对称到不对称，从无序到有序。后者表现为在混沌边沿出现的自组织现象和系统从无序到新的更复杂的有序的突现。普里高津（I.Prigogine）曾经指出：著名的熵定律把世界描绘成从有序到无序的演变，然而生物或社会进化向我们表明的却是从简单中出现的复杂。

“复杂性”是一门正在发展中的科学，迄今为止尚未形成精确的科学定义和完整的系统理论。但是，“复杂性”研究提出的上述三个命题，对于复杂系统仿真方法的研究，给予了一些重要的启示，即：

(1)复杂系统是指与生命、生命群体有关的系统。如：生命系、统、生物系统、生态系统、社会系统、经济系统等。这类系统具有病态定义和病态结构的特征。

(2)解决这类系统问题不能完全依靠传统的还原论方法，而需要采用或结合以整体论的方法。

(3)时间不可逆和进化范式是这类系统的动力学特征。系统的演化，从无序到有序是一个适应，自组织和突现的过程。

(4)复杂系统仿真方法，就是研究上述复杂系统动力学的建模与仿真方法。

“复杂性”研究推动了计算机仿真技术的发展，同时由于复杂系统难以进行直接实验的性质，也使计算机仿真技术成为复杂系统研究中主要的科学实践方法和工具。研究构造复杂系统人工模型的建模方法；开发相应的仿真软件用以仿真和预测复杂系统的动态行为；仿真和研究复杂系统的预决、适应、自组织、演化的动力学过程，成为复杂系统仿真方法研究的主要任务。

2 复杂系统的动力学特性

复杂系统的动力学特性具有：预决性、适应/自组织、演化、突现等特征：

- 预决性（Finality）

复杂系统的发展趋向取决于系统的预决性，预决性是系统对未来状态的预期和实际状态限制的统。事实上，任何有生命的物质，都具预期(Anticipate)或预测的能力，从而影响系统的运动方向。

- 适性/自组织（Adaptive/Self-Organization）

复杂系统的另一个动力学特性是适应/自组织。复杂系统不但会预期未来，同时会学习和吸取经验，并不断的进行自我改善、自我重组，这种适应/自组织的运动过程是复杂系统不断演化的基础。

- 演化（Evolution）

复杂系统对于外界环境和状态的预期——适应——自组织过程导致系统从功能到结构的

不断演化。这种演化运动在物理系统中是不存在的。物理系统一般由多个已有的元素组成，功能和结构都不会改变。而复杂系统一般是由简单的元素组合，经过不断的演化而发展在为功能和结构更为复杂的系统。从低级到高级，从简单到复杂，不断的演化，是复杂系统最本质特性。

• 突现 (Emergency)

复杂系统的状态处于远离平衡点及混沌边沿时，这种状态下系统一个重要的特征是系统的非线性。它表现为一个小的涨落会引起系统大的变化。一般说来，系统从混沌边沿趋向于新的有序的方向具有多个分叉口，突现则决定了分叉口的选择，从混沌到有序是一种必然的过程，但突现常具有偶然的性质。

3 复杂系统建模的理论研究

(1) 开放系统

存在着两类系统，孤立系统和开放系统。孤立系统与外界环境之间没有任何的物质、能量和信息的交换。随着时间的推移，其内部状态从有序趋向无序。系统的无序度是用熵来描述的，熵的变化大于零，因此一个孤立系统的内部熵将随时间不断增加，最终熵达到最大值，此时系统趋向于无序。开放系统与孤立系统不同，它与外界环境之间不断的进行着能量、物质和信息的交换。这种交换使它可能从外界环境输入负熵，从而使系统的总熵减小，或控制在某种缓慢的增长速度。其结果是增加了系统的有序性。这种自发的增加系统有序性的性质称为自组织性。这类系统也称为自组织系统。复杂系统是开放系统。

(2) 熵 (Entropy)

1864 年克劳修斯 (K.Clausius) 定义了物理熵 S：当物体的绝对温度为 T，经热传导给物体的热量为 ΔQ ，则物体的增加熵为：

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

由于热量只能由高端向低端传导，所以熵具有 $\Delta S > 0$ 的特性。熵是物质状态的一个函数，反映了热传导过程的方向性和不可逆性。

1872 年波尔兹曼 (L.Boltzmann) 的研究工作进一步证明，在大量粒子构成的系统中，熵表示粒子之间无规则排列的程度。维纳后来更明确指出：一个系统的熵就是它无组织程度的度量。香农 (L.E.Shannon) 从信息论的研究出发，提出了信息熵的概念，认为信息熵是信息源整体平均不定性的程度。

1956 年布里渊 (L.Brillouin) 统一了物理熵和信息熵的概念，指出：

- 信息熵是解除不定性所需信息量的度量
- 热熵则是系统混乱度（无序）的度量
- 信息增加意味系统有组织性的增加，信息丢失意味系统无组织性的增加。
- 信息度与熵互为负值

(3) 自组织

自组织是复杂系统重要的动力学特征之一，是系统不断演化的基础。这种自组织过程和现象是如何产生和运行的，为此已经有了许多的理论研究。

1)耗散结构(Dissipative Structure)

耗散结构是二十世纪六十年代由普里高津提出的自组织理论。普里高津认为：一个开放系统并没有充分条件通过自组织产生新的有序结构，只有在系统保持“远离平衡”和在系统的不同元素间存在着非线性的机制下，才会产生。上述种结构：即开放系统、远离平衡、非线性，是生物和社会系统所特有的一种新型结构。称之为耗散结构。具有“耗散结构”的系统，将不断地从环境中获取物质、能量，从而使系统的负熵增加，使系统的有序性增加，当有序性增加超过无序性增加时，就会通过自组织产生新的有序。

2)协同(Synergetics)

协同学的创始人是哈肯（H.Haken），他于二十世纪七十年代，继“耗散结构”理论提出之后，对系统自组织性进行了进一步的研究。协同学认为：一个系统从无序向有序的转化关系并不在离平衡态有多远，而是构成复杂系统的大量子系统之间存在着非线性关系，在一定条件下，子系统之间通过非线性的相互作用就会产生协同现象和相干效应，从而产生一定功能的自组织结构，导致新的有序状态的产生。这意味系统的进化。协同学深入讨论了协同现象产生的原因。认为协同运动是导致系统自组织现象产生的基本规律。

3)混沌边缘(Edge-Chaos)

二十世纪八十年代，圣塔菲（SFI）在人工生命的研究中提出了混沌边缘的概念，在对人工生命模型的计算机仿真中，发现在有序和混沌之间存在一个相变阶段，在这个层次中，系统的行为在一定条件下会出现适应和自组织的复杂现象。这种现象在关联论（Connectionism）一类模型中，如元胞自动机、基因网络中都表现出了某种普遍性。混沌边缘概念所阐述的现象在生命、生态、社会系统中也都有所表现。如企业的过度的有序（保守）会限制创新，而过度的无序则将无法正常生产。混沌边缘表现出某种临界的状态。系统通过自身的适应和自组织，而达到混沌边缘。混沌边缘的概念是从计算机仿真和对生命和社会现象观察中得出的概念，但对它的机理研究，还需要工作。

(4)预期的理性及有限理性

预期的行为模型最早出现在经济学研究中。其本质是指决策者对目前决策有关的经济变量的未来值预测。早期的预期行为模型是十分简单和缺少理性的，如外推法预期和适应性预期模型等。二十世纪六十年代，约翰·穆思提出理性预期的概念。理性预期意为合乎理性的预期，其思想是基于存在可用的信息资源和理论，可以据此建立完美的理性预期模型。二十世纪七十年代末，赫伯特·西蒙(H.Simon)提出有限理性论，从而奠定了有限理性预期研究发展的基础。有限理性预期的概念可以归纳为：

- 活动者本身的局限性限制了理性预期的可用性
- 限制主要来自：结果的不确定性；信息不完全及处理或计算能力的有限性和实现的复杂性。

一般说来，预期目的，“寻求满意”或“寻求最优”中，前者较后者更符合实际情况。以寻求满意为目的预期方法的研究，主要集中在问题求解空间的搜索效率上，即研究使用有限的搜索量，在巨大的问题求解空间中找到稀少答案的方法（如启发式方法）。

(5)复杂适应系统（Complex Adaptive system, CAS）

复杂适应系统（CAS）作为一种新的概念和方法，已成为“复杂性”研究的焦点之一。

区别于传统的理论研究方法，复杂适应系统的研究方法强调采用计算机仿真作为主要的研究工具。J·Holland 曾经对 CAS 的概念和方法作过系统的归纳：

1)CAS 是一个由许多并行发生作用的“主体”(Agents)组成的网络。

2)CAS 的控制是分散的，不存在一个主要作用的控制主体，系统产生的结果取决于主体之间的相互竞争与合作。

3)CAS 是一个多层次组织，每一个层次上的主体是上一层次的建设砖块 (Building Blocks)。

4)CAS 的本质特征是学习、进化和适应。最根本的适应机制之一就是改善和重组自己的建设砖块。

5)CAS 具有预期 (Anticipate) 的特征，这种预期基于对外部世界的假设模型之上，也是基于对于客观事物明确或模糊的认识之上。

6)CAS 存在很多的小环境 (Niches)，每一个适应其间的主体就可生存于其间并得以发展，其结果会开发出更多的新的小环境。这个过程将不断展开，不断转变。永远达不到均衡，达不到稳定，否则就变成了死的系统。

7)系统中的主体在适应过程中永远达不到在适存性和功能性方面的最优化，因为它面临一个接近无限的可能性空间。结果只能是不断的改变和改善自身。复杂适应系统的总体特征，就是不断的演化，是时间的不可逆性，是永恒的新奇。

8)CAS 提出的上述问题显然不可能用传统的理论方法来分析，而需要新的数学方法和采用计算机仿真技术。以建立多主体之间复杂的关联网络,仿真建设砖块的重组和改善过程及系统基于内在假设模型的预期行为。

(6)开放复杂巨系统

开放复杂巨系统的概念是中国著名科学家钱学森先生提出的。钱学森提出：子系统很多并有层次结构，它们之间的关系又很复杂，如果这个系统是开放的，就称做开放复杂巨系统。如：生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统、(包括生态系统)、社会系统、星系统等。钱学森认为：社会系统是迄今为止最复杂的系统。把它叫作开放的特殊复杂巨系统。对这类系统的复杂性概括为：

- 系统的子系统间可以有各种方式的通讯。
- 子系统种类多，各有其定性模型。
- 各子系统中的知识表达不同，以各种方式获取知识。
- 系统中子系统的结构随着系统的演变会有变化，系统的结构是不断变化的。

4 复杂系统建模与仿真方法研究

(1)遗传算法 (Genetic Algorithms)

1975 年 J.H.Holland 撰写了“自然和人工系统中的适应性”一书，总结了学习、进化、创造性的内在关系，并提出了遗传算法。Holland 的研究，受启发于 P.A.Fisher(1929)的《自然选择的遗传理论》。这是一本进化动力学的理论名著。Fisher 认为：进化不是均衡，不是最优，而是不断的适应。不存在决定论，不存在唯一可能的唯一结果。适应的结果就是不断优化和不断进化。1987 年 Holland 开发出基于遗传算法的软件系统分类器系统。遗传算法和分

类器系统用于改进基于经验的一般问题求解方法，在问题空间的搜索中，引入了适应和进化的机制，即：

1)知识表达用规则类型的心智结构表示。

2)规则处于竞争之中，被经验证明的规则将得以生存，反之则将消亡。

3)新的规则产生于旧规则的重新组合。

遗传算法提高了对问题空间的求解速度。对于智能仿真方法的发展是一个重要贡献。

(2)人工生命 (Artificial Life)

人工生命由 C.Langton 提出，1987 年 SIF 召开了第一次人工生命研讨会。人工生命是一个建模和仿真程序，它产生一组事件，用以仿真生命进化过程，即适者生存，自然选择。人工生命对于生命（包括生命群体）的研究，采取了与一般生物学、还原论不同的方法。人工生命的观点认为，生命的特征不存在于单个物质之中，而存在于物质的组合及关联之中，在方法论上持整体论的观点。人工生命认为：复杂的行为会人简单的元素中突现出来。因此仿真生命的行为，就是仿真简单的系统元素，不是自上而下的规定其行为和目标。而是让其在关联的互动中自下而上的突现出其复杂行为。人工生命首次提出用计算机仿真来探索生命运动的法则。

(3)神经网络 (Neural Network)

1943 年，心理学家 Mcclloch 及数学家 Pitts 发表了论文《内在神经活动的逻辑微积分》提出大脑可以仿真为逻辑运行的网络。并据此建立了一种仿真神经元的逻辑模型，并把它们互相联结起来，建立一个简化的神经网络模型。这个模型被称为 MP 模型。神经网络首次把大脑活动视为信息加工的形式来认识，从而开创了用形式化方法研究大脑和神经网络的可能。MP 模型是一个确定性模型，即具有固定联接和阈值的模型。这种简化限制了它的应用。1951 年 Rosenblatt 在神经网络研究的基础上提出了“感知器”(Pereception)的概念。感知器是一个具有存贮能力和随机结构的神经网络模型，它具有仿真人脑感知和学习的能力。感知器是第一个能学习和识别图形的自动机。对于神经网络的研究，迄今为止，已经提出过上百种的模型，其中著名的如 BP、BSB、HNN 模型等。由于复杂系统的演化过程与智能的学习过程十分相似。因此，利用神经网络来仿真和研究复杂系统受到了重视。

(4)布林网络 (Boolean Network)

布林网络也称为基因网络，它由 S.Kanffman 在 20 世纪 60 年代提出。其原理基于遗传回路和调节基因的遗传理论。遗传学研究发现，人类基因中存在着几百个基因，它们具有控制和调节其它基因活动的功能，这些基因组合成基因网络，类似一个复杂的反馈系统。它们之间不同的开关组合控制了基因的结构形式。从而达到某种结果。基因网络类似于一个基因调节系统。布林网络是唯一能描述大规模基因水平的基因网络，它被用于生命起源仿真和生态系统仿真。

(5)元胞自动机 (Cellular Automata)

元胞自动机 (CA) 源于世纪 40 年代 V.Nenmann 和 S.Ulam 的工作。CA 是一个由 Cell 即可编程自动机组成的矩阵，矩阵可以是一维的，也可以是多维的，网络可以采取正交的网络设置方法，也可以采取其它的结构。CA 用来仿真相互作用的元胞群体。元胞之间按照某种简单的规则进行交互。CA 是一个离散动态系统，CA 的基本属性包括：矩阵维数 N；Cell 的

状态；相互交互的 Cell 的组合结构；一组定义 Cell 状态变化的规则，它依赖于相邻 Cell 的状态。元胞自动机用来仿真复杂系统的自组织和突现现象，也曾用来仿真生命系统。如 J.Conway 开发的“生命游戏”(Game of Life)和 Wolfram 开发的“类似生命”(Life—Like)的工作。

(6)系统动力学 (System Dynamics)

系统动力学 (S.D.) 源于 MIT 的 J • Forrester 的工作，他于 1961 年发表了工业动力学一书，是这一领域中最早的著作。S.D. 基于信息反馈及系统稳定性的概念，认为物理系统中的动力学特性及反馈控制过程在复杂系统（如生物、生态、社会、经济）中同样存在。通过专家对复杂系统机理的研究，可以建立复杂系统的动力学模型，并通过计算机仿真去观察系统在外力作用下的变化。S.D. 曾用于工业、城市、人口、世界资源及环境等系统的预测和政策研究。相应的仿真软件是 DYNAMO。

(7)宏观仿真方法 (Microsimulation)

宏观仿真是一种统计建模与仿真方法，用于宏观经济分析和社会政策研究，它由 G • Orcutt 等提出于二十世纪 60 年代初，近二十年来，由于计算机处理能力的提高和数据资源的可用性增加使 MS 得到了发展。MS 的基点是建立社会在个体一级（个人、家庭、企业……）的档案文件库，并进行经常的动态维护以保证数据可用性。已经开发出一批用于国家一级的 MS 模型，如欧联的 EUROMOO，英国的 POLIMOD，加拿大的 LIFEDATHS。美国的 ASPEN，相应的仿真软件有 MODGEN。

(8)从定性到定量的综合集成方法(Meta—Synthesis)

从定性到定量的综合集成方法是为解决开放复杂巨系统问题和建模的一种方法，它由钱学森提出。方法的实质是将专家群体（各种有关专家）、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来。把各种学科的科学理论和人的经验知识结合起来。综合集成。这个方法曾在中国财政补贴、价格、工资综合研究以及国民经济预测中应用，取得良好效果。与此方法相应的通用软件有 MEIDSS（宏观经济人机智能决策支持系统）

对于基于演化的复杂系统建模与仿真方法研究，目前存在两种发展趋势。一种是把研究重点放在研究演化动力学的机理上，研究演化算法和建立演化模型，其代表如人工生命、遗传算法的研究。另一种是把研究重点放在研究具体对象（如经济系统，社会系统）的建模与仿真方法上，对于系统的演化过程则通过人机（计算机）结合，以人为主，建立以专家群体为主，计算机及网络为辅的建模与仿真平台，通过人机交互，实现模型的修正和演化。其代表如系统动力学，综合集成方法等。

5 复杂系统仿真软件

目前已开发出一批复杂系统仿真软件，现列出部分如下：

(1)RBSim

RBSim 是一个将智能代理(Agent)、图形交互及社会调查方法学等综合集成在一起的软件，用于人类行为的仿真。美国亚利桑大学开发。

(2)SDML

SDML 是用于社会系统建模的面向目标设计的专用软件。具有很强的仿真能力，包括：多代理、复合代理、多时间级、复杂组织、以及定性及定量结合等。英国曼彻斯特 Metropolitan