

战争系统基于人工生命的综合仿真方法

罗 批, 胡晓峰

国防大学信息作战与指挥训练教研部, 北京 100091

[摘要] 战争系统是典型的复杂系统, 对其的研究必须以复杂性科学理论为指导, 而基于人工生命的综合仿真方法为战争问题研究提供了新的思路。基于人工生命的思想, 采用 Agent 的建模仿真方法构建了战争系统人工社会; 对如某地区民意、舆论、经济以及国际政治生态等模型的总体思路和功能进行了介绍, 并分析了已有的大量人工社会模型; 对基于人工生命思想建模的有关问题, 如涌现、问题的解以及个体适应性等进行思考和讨论, 以期为该领域进一步的研究提供借鉴和帮助。

[关键词] 战争系统; 人工生命; 综合仿真法; Agent 建模仿真

[中图分类号] E911, TP391.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0048-06

Comprehensive Simulation of War System Based on Artificial Life

LUO Pi, HU Xiaofeng

Department of Information Operation & Command Training, National Defence University of PLA, Beijing 100091, China

Abstract: War system is a typical complex system, whose study must be guided by the complexity science, where the concept of artificial life plays an important role. In this paper, the artificial societies of war system based on artificial life and agent-based modeling and simulation, including the special public opinion, the general public opinion, the economy in a special area, and international political ecology, are reviewed and analyzed. Finally, some key problems—emergence, solutions of war problems, and individual's adaptability, etc. are discussed.

Key Words: war system; artificial life; synthesis simulation; Agent-based modeling and simulation

CLC Numbers: E911, TP391.9

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0048-06

收稿日期: 2007-02-02

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA01Z337)

作者简介: 罗 批, 男, 北京市海淀区红山口甲 3 号国防大学信息作战与指挥训练教研部, 副教授, 主要从事战争复杂性、战争模拟、遗传算法等研究; E-mail: luopi@yahoo.com

XU Guozhi, GU Jifa, CHE Hong'an. Systems science[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003.

[2] 胡晓峰, 司光亚, 吴 琳, 等. 战争模拟引论[M]. 北京: 国防大学出版社, 2004.

HU Xiaofeng, SI Guangya, WU Lin, *et al.* Introduction of war gaming and simulation [M]. Beijing: National Defense University Press, 2004.

[3] 胡晓峰, 罗 批, 司光亚, 等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005.

HU Xiaofeng, LUO Pi, SI Guangya, *et al.* War complex system modeling and simulation [M]. Beijing: National Defense University Press, 2005.

[4] 胡晓峰. 构建科学的战争模拟体系迎接新军事变革的挑战[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(2): 190-193.

HU Xiaofeng. Construct the scientific architecture of war gaming and simulation to face the challenge of new revolution in military affairs[J]. Journal of System Simulation,

2004, 16(2): 190-193.

[5] 胡晓峰. 战争工程: 走向信息时代的战争方法学[J]. 国防大学学报, 2005, 1: 31-34, 40.

HU Xiaofeng. War engineering: war methodology in information age[J]. Journal of National Defense University, 2005, 1: 31-34, 40.

[6] 李建会, 张 江. 数字创世纪人工生命的新科学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

LI Jianhui, ZHANG Jiang. Digital genesis the new science of artificial life[M]. Beijing: Science Press, 2006.

[7] DAVIS P. Effects-based operations [EB/OL]. RAND Report, [2006-12-28]. <http://www.rand.org/publications/MR/MR1477/index.html>.

[8] MOFFAT J. Complexity theory and network centric warfare [M]. Washington D C: DoD Command and Control Research Program, 2003.

(责任编辑 赵 佳)

0 引言

战争系统是典型的复杂系统,对其的研究必须以复杂性科学理论为指导,采用战争模拟仿真的方法解决传统战争研究方法的不足。战争模拟仿真对战争复杂系统的研究,归纳起来可分为 3 种方法。① 基于系统工程的分析方法,即将研究对象看成是一个系统,对系统进行适当地分解,在适当的层次上通过对系统整体目标的研究,找到解决问题的途径。② 基于人工生命的综合方法,即将研究对象尽可能地最基本的实体层次进行自然建模,通过系统中各个实体的独立行为和相互作用,通过演化产生出综合的效果,也就是产生出系统的涌现性。③ 面向战争实验研究的综合集成法,这种方法是由钱学森院士提出来的一类多种方法综合的方法学,相对来说,它可能是完全适应战争系统中各种复杂情况的惟一方法。

本文将重点介绍战争系统基于人工生命的综合仿真方法,采用这种方法笔者构建了一系列战争综合效果仿真模型——战争人工社会。为了使读者更好地理解这些战争综合效果仿真模型,首先对人工生命的思想进行简要介绍,然后对热点地区的民意、舆论、经济以及国际政治生态等模型的总体思路和功能进行简要分析,最后对基于人工生命的综合仿真方法构建战争系统人工社会提出了一些体会和思考。

1 人工生命的思想

人工生命(Artificial Life, AL)的研究^[1-3]兴起于 20 世纪 80 年代中后期,致力于研究具有自然生命系统特征,如自繁衍、进化、协同、竞争、自组织等的人工系统。按照 Chris Langton 的观点,人工生命的特征总是通过提取刻画生物现象的基本动力学原理来理解生命,并在其他介质,如计算机等“再生”这些动态的过程,从而使它们可被用于新的尝试、试验和操纵。

人工生命研究的最终目标是用人工的方法创造出生命,让人类自己扮演上帝的角色,但它的诞生是与一场新的方法论——综合,紧密地联系在一起的。人工生命所用的研究方法是综合,而不是分析,即不是用分析解剖自然生命的生物体、器官、细胞来理解生命,而是采用综合的方法,即在人工系统中将简单的零件组合在一起使之产生类似生命行为的方法来研究生命。通过这种方法可以创造出“如其所能的生命(life-as-it-could-be)”,即人工生命,人类只有在人工生命的广泛内容中研究和考察“如吾所识的生命(life-as-we-know-it)”,即自然生命,才会真正理解和认识生命的本质。从方法论的角度来讲,人工生命综合的方法可以归纳为:采用自下而上的研究策略,通过简单的局部的非线性的相互作用来涌现出异常复杂的整体行为。

应该指出的是,从某种意义上讲,人工生命的提出

对于生命本质认识和研究贡献次于它对方法论的贡献。虽然目前可以利用计算机构建具有某些简单生命特征的模型,如轰动人工生命界的 Tierra 以及 Avida、阿米巴等,但离人工生命的终极目标——人类成为第一个能够创造自己同类的生物,还很遥远。但是,基于人工生命的思想,采用 Agent 的建模仿真方法 (Agent-based modeling and simulation) 研究社会、经济、战争等复杂问题已经取得了长足的进展,不同领域的学者先后开发出一系列的人工社会模型,如研究环境变迁、遗传继承、贸易往来以及市场机制等社会现象的糖域(Sugarscape)模型^[3];模拟股市交易的人工股市模型^[3];研究巴基斯坦从军政府向民主政府演变过程的巴基斯坦像素模型^[4];研究天花感染传播的 EpiSims 模型^[5];研究宏观经济,如贷款利率、家庭购买力、GDP 等走势的 ASPEN 模型^[6-7];研究国家领土面积和整体实力分布的国家演化模型^[8];研究城市道路交通问题的 TramSims 模型^[9],等等。这些模型都是基于人工生命的思想,各类模型不再完全是现实社会的翻版,而是由人和社会的相关行为所“生成”的特定社会,其中相关行为可以根据现实世界总结和推理出来,也可以是完全假设或指定的。

2 笔者的实践

信息化战争不仅是军事力量之间的较量,更是国家体系之间的综合对抗。战争的核心不再是摧毁敌方的有生力量,而是转变为更加强调对敌方指挥体系、战争潜力和国家意志的摧毁。因此,在信息化战争模拟仿真中不能再仅仅考虑火力作战损耗,而需要更加注重对政治、经济、社会、外交、舆论等方面的战争综合效果进行量化分析与建模仿真。

2.1 民意模型

建立某地区民意模型旨在通过仿真,分析某些因素对某地区特定民意的影响以及预测特定民意走势,总体思路^[10]为:借鉴民意调查的某些思想,在建立该地区虚拟社会(环境 Agent)和公民(个体 Agent)子模型的基础上,通过环境对微观个体的不断刺激、个体自身演化以及个体间的相互作用,使系统涌现出宏观行为——特定民意(公民某种政治倾向性如 A、B 和 C)走势。

模型中,环境由 $n \times m$ 小方格组成,个体 Agent 在其中每次只能游动一个单元格,并且个体仅能影响邻近个体(或被邻近个体影响)。一方面模拟该地区政治、军事、经济、社会以及国际社会等现实环境,模拟的环境具有施加各种刺激(包括经济事件、军事事件、民主事件、政治事件和文化事件)和发布公共信息(如 GDP 增长率、失业率、股市升降指数等)两大功能。另一方面模拟的该地区公民生活在虚拟社会环境中,模拟的个体具有 ID、性别、年龄、个体生存和发展指数、个体追求安

全需求指数、个体追求民主需求指数、职业、文化程度、籍贯、效忠党派、经济状况、政治倾向性、个体影响程度、政治倾向性浓度、政治倾向性对应的颜色(蓝-C、绿-A、橘黄-B)、位置等属性。

笔者在 Swarm 平台上构建原型并进行了仿真实验,详细过程可以参见文献[10]。实验表明,上述设计较为合理,能在一定程度上反映该地区特定民意的走势。通过该模型,可以对该地区特定民意问题进行相关分析,是一个研究民意问题的人工战争社会。图 1 和图 2 是民意模型的主界面和输出曲线。

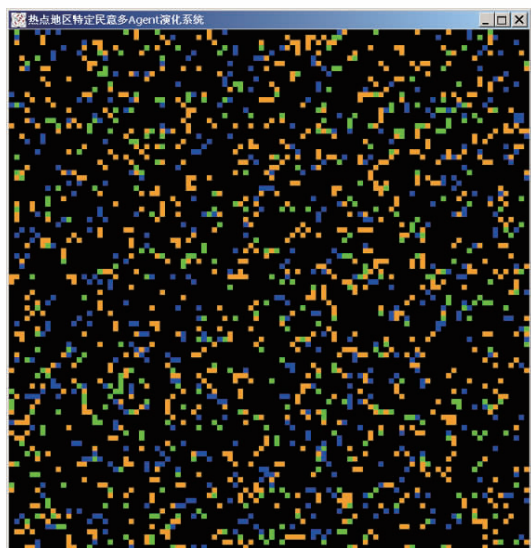


图 1 民意模型主界面

Fig. 1 Main interface of the special public opinion model

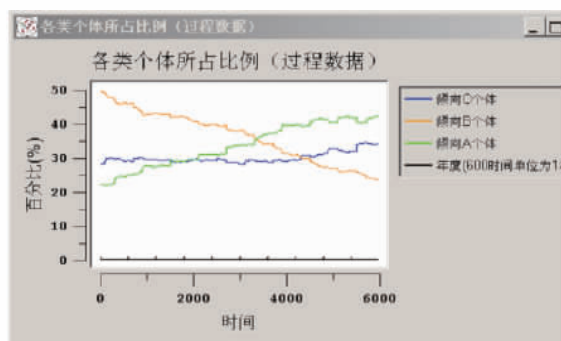


图 2 仿真过程数据

Fig. 2 Data of simulation of the special public opinion model

2.2 舆论模型

信息化战争条件下,夺取战争中的制舆论权,对于赢得战争主动权、争取民心、鼓舞士气,进而影响战争各方决策和行动具有重要战略意义。舆论战已由过去的战役战术层次上升到战略层面,这在伊拉克战争中

已经表现得非常充分。因此,深入研究信息化战争背景下的舆论传播与控制的特点、规律,是战争系统人工社会研究所必须面临的问题。为此,笔者针对某地区的特点,在复杂网络理论指导下,构建了舆论人工社会。

舆论模型^[11]主要包括媒体 Agent 和个体 Agent。其中,媒体 Agent 包括报刊、广播、电视和互联网 4 种主要媒体;个体 Agent 代表某地区的民众,该民众在各种媒体影响以及相互作用下,对某一危机事件的态度(如赞成、反对和中立)将随时间演化。图 3 显示了某一重大危机事件发生后某地区民众舆论的走势以及该地区主要媒体、国际主要媒体的态度。

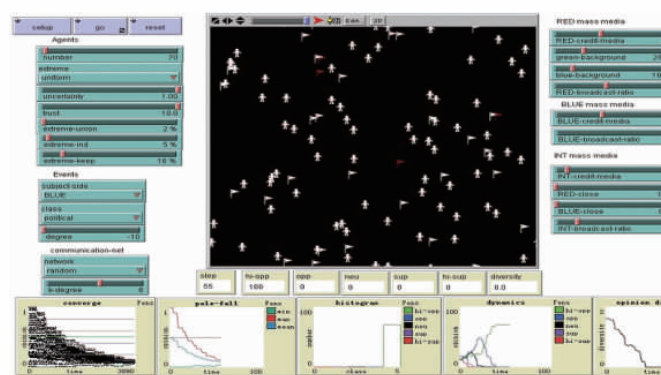


图 3 舆论模型

Fig. 3 General public opinion

2.3 经济演化模型

信息化战争与经济系统的相互作用越来越成为影响战争进程不可忽视的重要因素。无论是战争的发起、进行还是结束,经济的影响都不可忽视,甚至是决定性的。经济系统不但是战争的对象,而且也成为达成战争目的的重要手段。为此,笔者针对某地区的经济实际情况,结合战争危机对经济的影响,抽象地构建了该某地区在战争危机条件下的人工战争经济社会^[12]。

对人工战争经济社会设计了如下微观经济实体:家庭 Agent,企业 Agent,股市 Agent,战略储备 Agent,电力企业 Agent,外贸市场 Agent,商业银行 Agent,央行 Agent,政府 Agent 以及债券市场 Agent 等。其中,家庭 Agent 是模拟经济系统中最基础的消费及就业单元,家庭收入主要来源是工资、失业福利金,并按照一定的税制交税,家庭消费主要取决于家庭人口数,并寻找合适的公司采购。企业 Agent 是模拟经济系统中生产经营及雇用员工的基本单元,包括食品、非耐用消费品、汽车和建筑等。家庭和企业 Agent 的决策行为都是基于经济信心的。这里的经济信心是对危机条件下长期和短期经济形势的一种预期,分为消费信心、投资信心和商业信心。经济信心的引入使得描述危机条件下的家庭和公司的金融行为成为可能。股票 Agent 是股票交易的仲

裁机构,完成股票的上市和交易。战略储备 Agent,包括粮食、石油和原材料,分别描述该地区战略储备应对危机的能力。电力企业 Agent 主要描述危机条件下电力供应情况,与危机程度和战略储备密切相关。外贸市场 Agent 描述该地区进出口贸易的情况。商业银行 Agent 具有 4 种功能:管理家庭存款帐户、买卖政府发行的债券、贷款、雇用少量雇员。央行 Agent 为商业银行贴现,并实施相应的货币政策。政府 Agent 制定和执行相应的政策,完成征税、支付补助、保险金、债券利息;雇用公务人员;核算收入和支出,出现赤字则发行债券等功能;实施应对危机的特别经济政策。债券市场 Agent 是政府、家庭、企业、银行等进行债券交易的仲裁机构,实现发行、购买、卖出和结算等功能。

针对某地区可能发生的危机情况进行相关实验。通过仿真实验,得到了在特定危机情况下的某地区经济动态演化情况,如资金外逃、股票指数大幅下跌、宏观经济景气指标逐步下滑、能源储备量急剧下降等等,如图 4 所示。

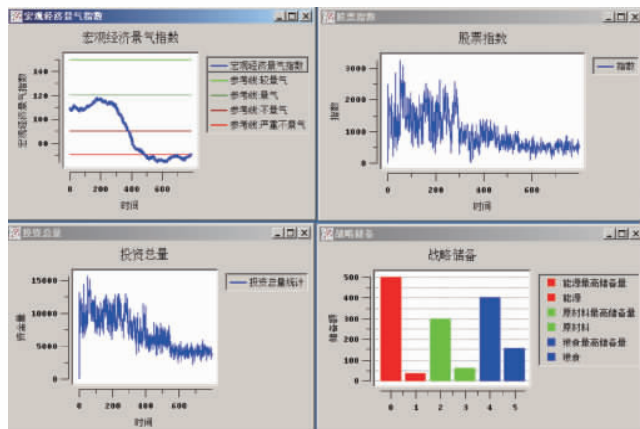


图 4 在特定危机下某地区的经济走势

Fig. 4 Economical trend of some area under the special crisis

2.4 国际政治生态模型

国际政治生态模型是现实国际世界映射到虚拟仿真世界的人工生态系统^[13],描述在危机形势下国家(或地区)行为的演化,在战略层面刻画宏观国际态势。国际政治生态模型强调个体的适应性和系统的演化性,其研究目的不是对危机发展做出精确的预测,而是研究危机事件的演化过程与规律,着重探索国家间的交互对于最终国际态势的影响。

国家政治人工社会实体包括联合国 192 个成员国,分别描述它们的属性、状态和行为。其中,属性包括地理位置、人口、面积、GDP、经济增长率、国内政治动员力、国际政治影响力、军费、核弹头数量、所属国际组织、宗教信仰、意识形态、价值观、历史传统和种族等;而状态是指对于特定危机的立场(倾向)及卷入危机的

程度;政治实体的行为分为政治行为、经济行为、军事行为和外交行为等。在建模过程中,特别考虑了大国因素、地缘政治、国际同盟以及宗教信仰等影响国家和地区对危机事件的态度等诸多问题。

利用国际政治人工社会,进行了初步实验:在某地区危机事件发生后,通过各个政治实体的相互作用和影响,涌现出各国对该危机事件的反应和立场;并随着危机事件的升级和转化,国际政治生态亦在不断地演化,最终实验得出的结论在一定范围内较为合理。

3 几点思考

基于人工生命思想,在对战争系统中民意、舆论、经济以及国际政治生态等综合仿真模型的构建实践中,笔者经历了思索、痛苦和徘徊。通过这几年的研究,对基于“人工生命”的综合仿真方法,积累了一些体会和心得,供大家研究讨论。

3.1 涌现

涌现是人工生命思想的核心。很多学者也对这个问题进行了深入的研究和思考。一言以蔽之,涌现就是整体大于部分之和^[14]。那么在人工社会的构建过程中怎样把握涌现,笔者认为必须把握以下 3 点。

1) 系统存在核心的多数 Agent。系统涌现出来的宏观性态,是由这些处于核心位置的多数 Agent 相互作用得到的。如 EINSTEIN 模型有上百个作战单元 Agent;民意模型有 1 800 个民众 Agent;勒斯蒂克的巴基斯坦像素模型有上千个像素;EpiSims 模型有上千个家庭;ASPEN 仿真了几百甚至上千个家庭;国家演化模型也有 300 个国家;糖域模型同时存在几百个 Agent。而 Axelrod 著名的囚徒困境博弈中的多数 Agent 就是这两个囚徒,它也是全部的 Agent。虽然系统中还有别的少数 Agent,但整个宏观性态是通过这些核心多数 Agent 的行为连接起来的^[3]。比如,ASPEN 系统中虽然有政府、联邦储备委员会、银行以及公司等少数 Agent,但系统的宏观性态,如货币政策对贷款利率/国民生产总值的影响、恐怖袭击对电力供应的影响等都是通过核心的多数家庭 Agent 与其他各经济实体 Agent 的相互作用而涌现出来的。

2) 宏观性态相对多数 Agent 是高高在上的,即跨层的。人工社会的建模思想就是自下而上的,即研究底层微观个体的属性、状态、行为和交互,进而在宏观层次上观察系统的属性。如公民 Agent 相互作用涌现出特定民意走势;糖域模型中通过 Agent 的交互可以观察到各种社会现象——财富分配、原始经济的形成等;而又如囚徒的博弈得出“仁者无敌”的思想。这种自下而上的跨层思想是人工社会建模的关键,也是区别于早期的离散事件系统仿真、基于系统动力学的仿真等的本质所在。

3) Agent 规则很简单。不管糖域模型、人工股市,还是 ASPEN,其 Agent 的规则都很简单。这是基于人工生命的核心观点——简单的、局部的非线性交互作用可以产生异常复杂的整体行为,即简单性产生复杂性。这正是人工生命/人工社会的生命力所在。以往人们在认识复杂系统时,总是采取自上而下分析的方法,对于复杂系统本身进行再三简化,直至能做到精确的数学分析为止。自上而下分析方法的一个基本要求就是,局部行为必须隐含在整体的规则之中;整体规则必须“预言”许多局部的、非线性相互作用对整体的影响,这通常是很难处理的,甚至是不可能的。而人工生命/人工社会采取的是综合的方法,它通过自下而上的思路,首先研究清楚系统局部的、非线性相互作用,将局部规则中隐含的全局行为自发地涌现出来。很显然,应用简单的局部规则产生复杂行为,相对于应用复杂的整体规则产生复杂的行为来说,是比较容易的。另外,综合的方法可以避免因系统规模扩大引起系统整体状态的指数级增加,最终导致系统整体规则的抽取变得不可为的问题;同时它也为局部行为提供局部规则,使得系统局部状态空间规模与系统规模基本无关。综上所述,这种基于简单局部规则涌现出复杂行为的思路切实为复杂性研究提供了新的工具和方法。

3.2 问题的解

在人工社会的构建过程中,人们往往特别关心的是通过建立的模型能得到什么,即问题的解是什么?解是什么形式的?笔者认为,人工社会能给我们的是隐喻、启示和定性的趋势,而不是对复杂问题精确的回答。如囚徒困境博弈模型就是通过隐喻的方式反映出人类之间合作与竞争的本质而抽象的关系,即在一个可以重复的、动态的、复杂的竞争环境下,合作现象会自发地涌现出来。以往人们喋喋不休争论的人性本善(趋向于互惠互利的合作),还是人性本恶(趋向于利己的竞争),由于缺乏理论的分析工具,使人们难以得出结论,而通过模型,发现合作是可以自发演化出来的。如糖域模型也是通过隐喻折射出环境变迁、财富分配等社会现象。ASPEN 则是对现实社会经济系统某些过程的模拟,得出有关宏观经济政策的启示。又如通过天花感染传播模型的分析可以得出一些在什么时候、采取什么样的措施等定性的结论。所以笔者构建的国际政治生态、军事、热点地区特定民意、经济和舆论模型都是基于这样的设计思路。

应该指出的是,这种观点并不是降低标准的懒人做法,而是符合复杂系统研究的客观规律。复杂问题不存在一般意义下的最优解,更不存在惟一的最优解。人工社会这种自下而上研究复杂问题的方法,就是企图通过模拟得到有效的启示和建议,而不是,也不可能对问题进行精确的回答。反过来,可能有人会问,这样的

模型作用何在?这里就得再谈谈人工生命的思想。人工生命是持“多重现象(Multi-verse Phenomenon)”的观点,认为生命的本质在于形式而不在于具体的物质。因此认为自然生命仅仅是生命的一种而已,还存在许许多多类型的生命。而从人工生命思想发展而来的人工社会也是如此,它可能是现实客观世界,也可能是未来的客观世界,或客观世界的补集。就如 Langton 所说“如果我们能够哪怕是瞥一眼可能的生物学空间,我们寻求的规律就可能得到揭示”一样,如果我们能够通过战争人工社会来研究全谱战争,即过去、现在和未来的战争以及可能的战争(如图 5 所示),那么,诸如“战争的迷雾”、“战争的偶然性”、“战争结果的不可重复性”等一系列问题都可能迎刃而解。这就是基于人工生命思想人工社会模型的作用所在。应该指出的是,虽然人工社会目前取得了初步的成果,如民意模型得出了某些控制民意的有效措施、天花模型为公共卫生部门提供了预防天花传播的积极建议,等等,但离人工社会真正扮演“多重社会”的目标还很遥远。

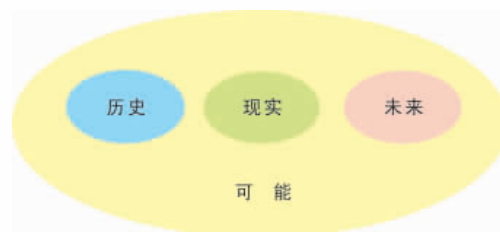


图 5 全谱战争

Fig. 5 Complete set of war

3.3 个体适应性

适应性是人工社会构建过程不能回避的一个问题。人工股市、ASPEN 分别采用分类器系统和强化学习的 Agent 适应性算法。构建模型过程中也引入了一些学习适应性算法,而其他模型,如糖域模型、巴基斯坦像素模型、国家演化模型等,则采用了固定规则,通过仿真前改变规则来观察系统宏观性态的变化。采用固定规则的模型也能为复杂问题的认识提供一定意义的启示和帮助。但笔者认为,这只是一种简单人工社会,而真正意义上的人工社会的个体 Agent 应具有很强的学习适应能力,这样的人工社会才是真正现实社会的平行系统。不过个体适应性算法的研究仍任重道远,虽然分类器系统、强化学习等算法为个体适应性算法研究提供了思路,但还远远不够。一方面,个体适应性算法就是对人类学习过程的模拟。一个刚刚出生的婴儿并不具有现成的知识,通过后天的学习,他会掌握越来越多的知识。那么,人类的这种认知过程是怎样完成的呢?目前为止,现代科学已经认识到认知过程是人脑神经元相互作用的结果,但其真正的机理仍然是个谜,这

正是当今世界三大难题之一——人脑是怎样工作的一个关键部分。因此,对人类认知过程的准确模拟就更谈不上了。另一方面,像分类器系统和强化学习这一类算法必须要求环境提供及时的反馈,否则算法无法进行。然而很多社会领域,如国际政治生态模型、民意模型、舆论模型等人工社会中,个体 Agent 的行动很难得到一个及时的反馈,甚至没有反馈。也许是模型本身设计存在缺陷——时间跨度太短,但时间跨度太长模型研究的现实意义将大打折扣,得到的可能是一些更加抽象的结论,如国家演化模型。为此,如果进一步处理这个问题,可能会出现意想不到的研究结果。

4 结论

基于人工生命的综合方法为复杂性研究提供了新的思路。这种综合方法不是人工生命的专利,实际上是很多学科的基础。综合可以扩展自然提供给我们的客观世界。诸如,化学科学中的物质合成就是一种综合,在能够合成物质之前,化学主要是对自然界已有的化合物进行研究,对什么物质的研究,很大程度上取决于自然碰巧摆在我们面前的是什么物质,因而研究对象很大程度上是历史的偶然。然而,当化学家可以合成化学物质时,情况就发生了巨大的变化。借助于合成,研究者不仅可以更加精确地理解自然物质的性质,而且可以扩展研究对象的范围,创造出自然界没有的新物质;尽管化学物质的合成是简单系统的范畴。而对于复杂系统范畴的社会、经济、战争,也是如此。只有到了能够综合和合成出人工社会、人工经济、人工战争的时候,人类才能对这些研究对象进行“试验”,才能更为全面地真正认识其内在本质。这就是综合的作用,也是人工生命思想的精髓——不必只是努力再造已有的自然,而是自由地探索可能的自然。

参考文献 (References)

- [1] BEDAU M A, McCASKILL J S, PACKARD N H, *et al.* Open problems in artificial life[J]. *Artificial Life*, 2000, 6(4): 363–376.
- [2] 涂序彦, 尹怡欣. 人工生命及应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.
TU Xuyan, YIN Yixin. *Artificial life and its application* [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2004.
- [3] 李建会, 张江. 数字创世纪人工生命的新科学 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
LI Jianhui, ZHANG Jiang. *Digital genesis the new science of artificial life* [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [4] 董晔弘. 用电脑预测恐怖[J]. *科技新时代*, 2004(5): 48–57.
- DONG Yehong. Computer forecast terrorism[J]. *New Age of Science and Technology*, 2004(5): 48–57.
- [5] BARRETT C L, EUBANK S G, SMITH J P. If smallpox strikes portland[J]. *Scientific American*, 2005, 292(3): 42–49.
- [6] SPRIGG J A, Jr, EHLEN M A. Full employment and competition in the aspen economic model: Implications for modeling acts of terrorism [R]. Sandia Report. Sand 2004–5500. November 2004.
- [7] SPRIGG J A Jr, JORGENSEN C R, PRYOR R J. Approach and development strategy for an agent-based model of economic confidence [R]. Sandia Report, Sand 2004–4218. August 2004.
- [8] 韩筱璞, 周涛, 汪秉宏, 等. 基于元胞自动机的国家演化模型研究[J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2004, 1(4): 74–78.
HAN Xiaopu, ZHOU Tao, WANG Binghong, *et al.* Nation evolutionary model based on cellular automata [J]. *Complex System and Complexity Science*, 2004, 1(4): 74–78.
- [9] Los Alamos National Laboratory. TRANSIMS [EB/OL]. [2007–01–22]. <http://transims.tsasa.lanl.gov>.
- [10] 罗批. 基于 Agent 构建战争系统复杂模型方法的研究[D]. 北京: 国防大学, 2004.
LUO Pi. Study on the constructing method of complex models in war system with agent-based modeling [R]. Beijing: National Defense University of PLA, 2004.
- [11] 刘常昱, 胡晓峰, 司光亚, 等. 基于小世界网络的舆论传播模型研究[J]. *系统仿真学报*, 2006, 18(12): 3608–3610.
LIU Changyu, HU Xiaofeng, SI Guangya, *et al.* Public opinion propagation model based on small world networks[J]. *Journal of System Simulation*, 2006, 18(12): 3608–3610.
- [12] 于振江, 张斌, 傅凝, 等. 战争危机下一种经济演化模型研究[J]. *系统仿真学报*, 2005, 17(11): 2811–2814.
YU Zhenjiang, ZHANG Bin, FU Ning, *et al.* Study on economy evolutionary model in military crisis[J]. *Journal of System Simulation*, 2005, 17(11): 2811–2814.
- [13] 于芹章, 司光亚, 胡晓峰, 等. 国际政治生态演化模型框架研究[J]. *系统仿真学报*, 2005, 17(11): 2805–2807.
YU Qinzhang, SI Guangya, HU Xiaofeng, *et al.* Study on framework of international politics ecology evolution model[J]. *Journal of System Simulation*, 2005, 17(11): 2805–2807.
- [14] 胡晓峰, 罗批, 司光亚, 等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005.
HU Xiaofeng, LUO Pi, SI Guangya, *et al.* War complex system modeling and simulation [M]. Beijing: National Defense University Press, 2005.

(责任编辑 赵佳)