

社会科学计算实验系列之一
国家自然科学基金重点项目研究成果

盛昭瀚
张军
杜建国
等著

社会科学计算实验 理论与应用



上海三联书店

盛昭瀚
张军
杜建国
等著

社会科学计算实验 理论与应用



上海三联书店

图书在版编目(CIP)数据

社会科学计算实验理论与应用/盛昭瀚等著. —上海:上海三联书店, 2009. 7

ISBN 978-7-5426-3060-5

I. 社… II. 盛… III. 电子计算机—应用—社会科学—研究方法 IV. C39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 060329 号

社会科学计算实验理论与应用

著 者 / 盛昭瀚 张 军 杜建国等

特约编辑 / 钱培洲

责任编辑 / 冯 征

装帧设计 / 范峤青

监 制 / 李 敏

责任校对 / 张大伟

出版发行 / 上海三联书店

(200031)中国上海市乌鲁木齐南路 396 弄 10 号

<http://www.sanlian.com>

E-mail: shsanlian@yahoo.com.cn

印 刷 / 上海市印刷七厂有限公司

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版

印 次 / 2009 年 7 月第 1 次印刷

开 本 / 787×1092 1/16

字 数 / 700 千字

印 张 / 39.5

ISBN 978-7-5426-3060-5/C·313

定价: 68.00 元

序 言

——大力推动社会科学研究方法论的创新

社会科学是以社会现象及其发展规律为研究对象的科学。自 19 世纪至今,经无数学者的努力和潜心研究,社会科学不仅形成了门类和领域众多、内容精深的学科体系,而且出现了体系内学科相互融合和交叉的现象,这说明社会现象及其发展规律本身是极其丰富和复杂的。

复杂性思维和对复杂性的探索,不断加深了人们对社会系统自身复杂性的理解和认识。今天,人们已在社会系统具有高度复杂性这一问题上形成共识,并且认为社会系统的复杂性主要源于:

1. 人的行为的复杂性。社会系统的主体是具有高度智能和自适应能力的人,而“适应性造就复杂性(霍兰)”。

2. 社会结构的复杂性。社会结构普遍是有层次的,而系统层次间一般都会呈现复杂的“涌现”现象。

3. 要素间关联的复杂性。社会系统的组成要素,有人、物和信息,彼此之间的关联方式与因果关系导致相互之间的关联作用呈现多种类型的复杂性,如时滞、非对称、不完全、异构及非线性等。

4. 环境的复杂性。社会现象一般都是社会系统的某种宏观行为,而这种行为必然受到系统环境的影响,特别是当环境变化和高度不确定时,系统行为的复杂性会显著增加。

除了上面提到的这些因素之外,人的思维的复杂性也使得主客观之间的关系又增加了一重复杂关系。

事实表明,社会系统及相应的社会科学问题日益凸现的上述复杂性,不断向社会科学研究方法论提出新的挑战,在这种情况下,随着社会现象复杂性的不断增加,相应的揭示、驾驭这一复杂性的社会科学研究方法论也在不断发展,并推动着社会科学的进步。

当然,在社会科学发展历程中,社会科学研究方法论从来就没有停止过探索与升华,从最初的定性分析方法到后来的定量分析方法,人们从对社会系统外在

表现与特征进行描述进步到通过数理方法探索社会现象和规律。方法和工具的变迁推动了人们对社会系统的认识从外在表象向内在本质的跨越。然而,社会系统中涉及大量的自主主体意识或心理活动以及社会现象中那些难以用数学语言描述或虽能描述但无法“求解”的复杂性,又使社会科学研究中的定量分析方法表现出自身的不足。

更进一步,为了更直接地反映和表达社会系统主体(人)的心理和行为。社会科学研究又运用了由人直接参与其中的实验方法,即构造实验环境与条件,在一定源于社会现实的假设之下,让人直接参与关于社会问题研究的实验,由此探讨复杂社会现象的因果关系与一般规律,该方法目前已经取得了较显著的成果,然而,由于社会问题的实验过程不可重复、难以复原或者考虑到成本、道德、伦理及法律等因素,该方法也存在着较大的限制。

另外,当前社会科学研究方法,主要还偏重于还原论,即主要强调对社会现象某个侧面与断面的分解和分析。当然,为了提高社会科学研究能力,人们也注意到不同研究方法的结合,如定性方法和定量方法相结合,定性、定量方法与实验方法相结合等等。但从总体上讲,这些结合对于充分揭示社会系统整体性现象及动态演化的复杂性来说,仍然是不够的。因此,要充分分析和揭示社会系统的系统复杂性,必须考虑系统中众多主体的自主性和异质性;要考虑动态环境对社会系统宏观结构与主体微观行为的影响;要考虑社会系统不同层次之间的相互作用与行为涌现;要考虑社会系统演化的分岔与对路径依赖等等。这样,就要求借鉴、吸收、集成、融合不同学科的理论、工具与技术,特别是综合自然科学、社会科学与人文科学的技术和方法,在已有的研究方法基础上,形成新的方法论。

在这一方面,近年来,特别重要和有意义的是,出现了基于计算技术、复杂系统理论和演化理论的计算实验方法,该方法被认为是和理论研究、实验研究鼎足而立的科学研究的基本方法。它不但在自然科学与技术的各个领域中得到成功的应用,而且显示出在社会科学各领域中应用的可能性。人们可以通过在计算机上构建现实社会系统的模拟系统,以此来研究社会系统的演化规律、系统与环境的交互机制及系统动力学原理。

社会科学计算实验方法对社会科学研究而言不仅是简单的研究技巧和具体方法的改进,更具有重要的方法论意义,它把现实社会系统转化成由智能主体构成的演化系统,这样,运用计算机虚拟的社会环境,可以用不同的“人工个体”替代现实社会系统中的“人”,并揭示社会系统个体微观行为与系统宏观行为之间的动力学机理,同时,通过利用不同的计算实验方案,可以研究和归纳关于社会系统问题的解决方案的思路。由此可见,社会科学计算实验是在社会科学领域中,以信息技术为平台,把握嵌入信息技术与复杂系统科学内涵的新的科学实验

概念与方法,因此,相当程度上这是社会科学研究方法论的一大创新。从国内外这一领域的发展以及实际应用情况看,计算实验方法已在社会科学诸多领域,包括经济、管理、环境、公共事务甚至人文学科中的历史、考古、语言等领域都有令人耳目一新的研究成果,说明了计算实验方法的有效性。

计算实验方法的产生与发展过程体现了不同思维理念的互动、不同知识体系的融合、不同技术和方法的集成,本身就是一次复杂的知识系统工程,其中有许多值得我们总结和借鉴的经验,例如:在社会科学研究中:

1. 要充分地把还原论和整体论结合起来;
2. 要充分发挥开放式的学科集成平台的作用;
3. 要充分发挥逻辑思维、形象思维的作用并努力将其有机结合起来形成新的创新思维;
4. 要充分做好学科融合的组织与管理工作,认真培育有利于学科交叉与融合的学术生态环境;
5. 要充分注重培养既有创新激情又能坚持不懈的学科交叉型人才。

通过学科交叉与融合产生新的有效的研究方法不是简单的学科叠加,正如钱学森指出的“逻辑思维,微观法;形象思维,宏观法;创新思维,宏观与微观相结合。创造思维才是智慧的源泉,逻辑思维和形象思维都是手段”。社会科学计算实验方法,又一次证明了这一点。

本书为南京大学工程管理学院的学术团队经过较长时间潜心治学、坚持不懈地探索和研究的成果总结,本书之出版,对大力推动计算实验方法在我国社会科学研究领域中的普及与应用具有重要的开拓意义。同时,也再一次引发我们关于大力推动社会科学研究方法论创新的思考,希望有更多的社会科学家,特别是中青年社会科学研究人员以强烈的科学精神和责任感,大力推动社会科学方法论创新,为进一步繁荣我国社会科学研究做出新的贡献。

中国工程院院士

王众托

2009 年春

前 言

实践证明,随着社会系统日益复杂,其所反映出来的复杂性是任何单一的研究方法都难以驾驭的。特别是社会系统中的主体——人,作为最复杂的要素,具有很高的智能性,其认知与决策行为本身就是一个通过与其它主体以及环境之间的交互,不断进行演化学习,又通过学习进而改变自身行为的适应性过程。同时人在不同的时间和不同的条件下,其行为可能是不同的,这就使得由其参与的系统具有明显的复杂性。

社会经济系统的复杂性决定了社会系统具有多种演化的可能性。所以霍兰认为是复杂适应系统中主体的适应性造就了复杂性(霍兰,2000)^①。而正是由于这种主体的适应性,我们难以用传统的还原论的方法来对社会系统进行研究,从而需要新的方法论。能够解决复杂系统的研究方法必须要有如下特点:一、该方法要考虑复杂系统的多自主主体;二、该方法要考虑复杂系统多个层次间相互作用与涌现现象;三、该方法要考虑复杂系统演化的多种可能性;四、该方法要充分考虑动态环境,特别是非连续变化环境对复杂系统宏观结构和微观行为的影响。

针对上述问题,以综合集成方法论为指导的社会科学计算实验方法是综合集成计算技术、复杂系统理论和演化理论等,通过计算机“构造”出现实系统的“替身”,并在此基础上进行社会系统复杂行为分析,探索社会系统演化规律的一种科学研究方法。通过社会科学计算实验方法,我们可以对当前社会科学一些难以研究的问题进行分析实验,进而掌握其本质特征。它不仅为我们提供了研究复杂社会系统自组织、动态演化及宏观与微观层次之间相互作用等问题的新的工具和手段,而且还和传统的社会科学研究方法,即定性定量方法、传统社会实验等方法,在综合集成思想指导下形成现代社会科学研究方法体系:定性定量、科学实验、虚实结合、综合集成。这一体系不仅不否定对于社会科学研究有重要贡献的各种传统方法,而且在深入发掘它们各自作用的基础上,将它们相互整合、互补优势,形成更为强大的关于社会科学问题的认识、分析与驾驭能力。

① 霍兰.隐秩序——适应性造就复杂性.周晓牧等译.上海:上海科技出版社,2000.

这既是计算实验自身意义的体现,更是在综合集成思想下涌现出来的整体方法体系价值。

作为社会科学计算实验系列丛书的“开路先锋”,本书主要目标就是探索社会科学计算实验的理论基础、研究体系框架和研究范式,给出作者和当前学术界在社会科学计算实验多个领域的大量研究成果,期望通过这些成果,使读者对社会科学计算实验的基本内容、方法和过程有一个较为清晰的了解,为他们进一步研究和应用打下基础。

在这个理念下,本书分为两个部分,第一部分为理论篇,第二部分为应用篇。在理论篇,我们主要从社会系统是一个复杂系统的角度对社会系统进行了剖析,探讨了社会系统复杂性的表现和根源,在此基础上对已有的社会科学研究方法进行了回顾与评述。同时,根据社会科学研究的困难,指出了社会科学计算实验方法可以解决复杂社会经济系统面临的挑战,并对社会科学计算实验的理论基础、研究体系框架、研究范式以及研究技术路线进行了较详实的阐释。在应用篇,我们主要提供了基于计算实验的研究方法在社会科学领域的一些研究案例。首先,围绕着复杂社会系统的典型案例供应链系统的协调与优化的若干问题,我们应用了计算实验方法对之进行了研究,详细地给出了研究问题、研究思路、实现过程以及最终的研究结果。其次,我们列举了作者和国内外社会科学领域的专家们开展的典型研究案例,以期说明计算实验的有效性和广阔的适应性。

具体来说,本书共分为21章。第1章从复杂系统的角度论述了社会经济系统的复杂性表现及复杂性产生的根源。第2章对社会科学的研究方法进行回顾,分析了社会经济系统复杂性对研究方法论带来的挑战,并对应用人工社会方法开展社会科学问题研究进行了阐述。第3章根据上两章的研究基础,提出了解决社会科学复杂问题的有效方法——计算实验方法,并详细介绍了计算实验研究的基本概念、模型结构与框架、研究范式、技术路线,并对应用计算实验过程中可能遇到的问题进行了阐述。第4~7章分别对供应链系统中的库存控制、价格协调、供应风险、网络设计等协调与优化问题进行了分析研究,详细介绍了研究问题、建模实现过程和实验结果。第8章引入计算实验的理论研究框架,利用多主体建模工具Swarm来实现对投资者在市场中的学习行为研究,力图发现证券市场中各种宏观现象和规则产生的内在机制。第9章利用计算实验方法研究企业的技术创新策略选择,突破了常用的以博弈论为主要工具的定量研究方法和以市场调查与定性描述为主要特征的研究方法。第10章基于社会心理学的研究成果,从决定个体心理因素的文化基因微观层次出发,用计算实验方法这一全新视角来研究宏观组织行为演化问题,并对演化计算结果进行分析。第11章研究了软件产品的扩散现象,对影响正版软件扩散的因素及盗版软件对正版

软件扩散的影响进行了分析与实验。第12章研究了行人疏散问题,首先模拟了室内人员的疏散过程,在此基础上对疏散时间与出口的宽度、人员的初始密度之间的关系进行了模拟实验研究。第13章从整个传播系统的角度来考察谣言形成与传播扩散,建立谣言传播的计算实验演化模型以再现谣言传播演化过程,从中分析谣言形成与传播过程中各种因素的影响。第14—21章主要介绍当前一些国内外学者对社会科学研究领域的一些研究成果。第14章,构造了基于主体的消费者购买决策模型,以揭示消费者做出购买决策时的内在心理过程,通过在人工市场中创建大量的异质消费者主体模拟了一个市场涌现现象——诱饵效应。第15章以跨区域和跨文化的人类—自然耦合系统概念为基础,构建了森林地区人与自然的动力学模型,模拟了人类利益相关者之间的相互作用,并对哪些核心的价值观驱使利益相关者做出土地使用的决策从而使得土地覆盖发生变化以及这些价值观如何影响决策和政策的制定,并使得人类和自然系统能够在同一个地方共存等问题进行了研究。第16章构建了一个能描绘大部分农业活动景象的农业社会模型,并采用基于主体的模拟方法得出从正常增长到周期性饥荒导致的周期性衰退的一系列不同结果。第17章从社会科学的角度出发,利用元胞自动机与日常交互的社会网络的镜像来模拟新加坡、台北、多伦多SARS传播的动态演化过程,并讨论了这些城市每个公共卫生政策的成效。第18章设计了一个研究资源、种族和冲突的基于主体的建模架构,并以两个基线模型的运行为例,说明在不同的主体策略下,种族、资源对内战发生的影响,以此来解释内战的原因、潜在机制和演变轨迹。第19章使用Netlogo工具包构建了基于主体建模的计算模型,通过改变原始种群规模、种群增长速度等参数,估算不同条件下种群的物种多样性度,得出了有意义的结论。第20章提出一个基于多主体的计算框架以研究交流和语言的涌现,研究表明,认知主体的语言能力严格地依赖其社交、运动、神经系统和认知能力。第21章使用基于主体的计算机建模来创建人工社会,对改变人群环保态度的策略进行了研究,研究发现人与人直接交流的环境保护运动比只使用大众媒体的运动更有优势。

最后我们提出如下的关于社会科学研究方法体系:定性定量、科学实验、虚实结合、综合集成。

本书既介绍了作者研究团队近年来关于社会科学计算实验研究工作的总结,又介绍了这一领域内其他学者的一些典型研究成果。其主要目的是想借此书推动这一对于提高社会科学研究水平和规范性的研究方法在国内的发展,并以此进一步繁荣我国社会科学研究工作。

2009年5月

目 录

序言	1
前言	1

理 论 篇

第 1 章 社会系统是复杂系统	3
1.1 系统与系统科学	3
1.1.1 系统的基本概念和特性	3
1.1.2 系统思想与系统论	8
1.1.3 系统科学的形成和发展	10
1.2 复杂系统与系统复杂性	14
1.2.1 复杂系统	14
1.2.2 系统的复杂性	18
1.2.3 复杂适应系统理论	22
1.3 社会经济系统的复杂性	25
1.3.1 社会与社会经济系统	25
1.3.2 社会经济系统的复杂性表现	27
1.3.3 社会经济系统复杂性的根源	34
参考文献	41
第 2 章 社会科学的研究方法综述	45
2.1 社会科学研究方法回顾	45
2.1.1 定性方法与评述	46
2.1.2 定量方法与评述	51
2.1.3 实验研究方法 with 评述	56
2.2 社会经济系统复杂性对研究方法论的挑战	61
2.2.1 方法论概述	62

2.2.2 系统复杂性需要的方法论	65
2.3 社会科学研究中的人工社会方法	73
2.3.1 人工生命简介	73
2.3.2 人工社会方法与评述	78
参考文献	82

第3章 社会科学研究中的计算实验方法	87
3.1 社会科学研究中的计算实验	87
3.1.1 社会科学研究中的难点	87
3.1.2 计算实验方法概述	90
3.1.3 基于系统科学思想的社会科学计算实验	91
3.1.4 社会系统的可计算性	93
3.2 社会科学计算实验的模型结构与研究框架	96
3.2.1 基于计算技术的人工社会	96
3.2.2 社会系统的两个基本演化机制	97
3.2.3 社会科学计算实验的模型结构	99
3.2.4 社会科学计算实验的研究框架	102
3.2.5 计算实验的作用	105
3.3 社会科学计算实验的研究范式	106
3.3.1 界定研究的问题与环境	106
3.3.2 设定研究的基本假设	109
3.3.3 建立可计算模型	111
3.3.4 实现计算实验	113
3.3.5 实验结果的评估与比较	115
3.4 社会科学计算实验的技术路线	117
3.4.1 社会科学计算实验的程序设计方法	118
3.4.2 基本建模方法	124
3.4.3 常用数理方法简介与应用	129
3.4.4 学习模型	132
3.4.5 进化模型	141
3.4.6 不确定性推理	144
3.5 社会科学计算实验之评述	149
3.5.1 实验管理方法与计算实验方法	149
3.5.2 计算机仿真方法与计算实验方法	151

3.5.3 社会科学计算实验之评述	153
3.6 应用计算实验的常见问题	155
3.6.1 应用计算实验的基础知识	155
3.6.2 信息处理及其可视化	156
3.6.3 定性要素的量化处理	157
参考文献	160

应用篇上部

——计算实验在供应链协调与优化中的若干问题研究

前言	169
----	-----

第4章 供应链动态库存控制及其计算实现	172
---------------------	-----

4.1 基于案例推理的强化学习算法设计及其计算实现	172
4.1.1 简介	172
4.1.2 多代理供应链模型	174
4.1.3 基于案例推理的强化学习(CRL)	177
4.1.4 计算实验结果与分析	180
4.1.5 结论与研究方向	184
4.2 异质供应链(S, s)随机库存控制系统研究	185
4.2.1 引言	185
4.2.2 研究现状	185
4.2.3 模型及其参数设定	186
4.2.4 结果分析	189
4.2.5 结论	192

第5章 基于不确定信息的供应链协调及其计算实现	194
-------------------------	-----

5.1 引言	194
5.2 相关研究现状	195
5.3 简单的供应链背景:出口羽绒服供应链	196
5.4 代理模型	197
5.4.1 零售商代理	198
5.4.2 生产代理	199
5.4.3 供应商代理	201

5.5	案例研究	201
5.5.1	系统假设	201
5.5.2	企业收入的稳定性分析	204
5.5.3	应用分析	205
5.6	结论分析	206
第6章	基于人工供应链模型的供应风险问题研究	207
6.1	基于计算实验的人工供应链模型构建	207
6.1.1	供应链网络中角色的定义	207
6.1.2	人工供应链模型的构建	209
6.1.3	程序实现和实验环境	215
6.1.4	小结	220
6.2	交货提前期对供应风险的影响分析	221
6.2.1	问题背景	221
6.2.2	建模规则	222
6.2.3	实验分析	226
6.2.4	结论分析	230
6.3	供应风险应对策略及其计算实现	231
6.3.1	引言	231
6.3.2	问题的描述	234
6.3.3	供应链模型构建	234
6.3.4	计算实现过程	239
6.3.5	实验结果与分析	242
6.3.6	小结	254
第7章	基于计算实验的供应链网络设计问题研究	255
7.1	基于计算实验的逆向物流网络优化设计	255
7.1.1	引言	255
7.1.2	逆向物流网络的功能、类型与研究内容	256
7.1.3	逆向物流网络问题描述	259
7.1.4	基本模型构建	260
7.1.5	随机环境下固体废弃物逆向物流网络基础设计	265
7.1.6	随机环境下固体废弃物逆向物流网络进阶设计	269
7.1.7	小结	276

7.2 供应链网络动态演化及其计算实现	277
7.2.1 引言	277
7.2.2 问题的描述	278
7.2.3 模型的构建与计算实现	278
7.2.4 实验结果和分析	288
7.2.5 小结	300
7.3 基于计算实验的供应链网络结构突变管理研究	301
7.3.1 引言	301
7.3.2 问题描述	303
7.3.3 模型构建及结构突变分析	305
7.3.4 小结	314
参考文献	315

应用篇下部

——计算实验在社会科学其他领域的应用

第8章 投资者学习、策略调整与市场均衡	327
8.1 问题的描述	328
8.2 人工股市模型结构	328
8.2.1 交易市场环境	329
8.2.2 主体与行为模式	330
8.2.3 价格形成模型	331
8.2.4 红利生成模型	332
8.3 模型实现与结果分析	333
参考文献	335
第9章 企业技术创新策略选择的演化分析	336
9.1 问题描述	336
9.2 计算环境、模型与实现过程	337
9.2.1 基本假设与边界条件	338
9.2.2 演化计算的实现过程	339
9.2.3 计算参数设置	339
9.3 计算实验结果分析	341
9.3.1 依据经典“智猪博弈”模型条件的演化计算结果	341
9.3.2 游戏规则对企业技术创新决策影响的演化分析	343

9.3.3 竞争与合作对企业技术创新决策影响的演化分析	345
9.4 结论	346
参考文献	346
第 10 章 基于文化基因研究组织行为演化问题	347
10.1 问题描述	347
10.2 文化基因与计算实验模型	348
10.3 计算实验环境与实现过程	350
10.3.1 基本假设与边界条件	350
10.3.2 演化计算的实现过程	351
10.3.3 计算参数设置	352
10.4 计算结果分析	355
10.4.1 组织行为问题的演化分析	355
10.4.2 行为多样性的演化结果	357
10.5 结论	359
参考文献	359
第 11 章 软件扩散的元胞自动机模型实验及实现	361
11.1 引言	361
11.2 软件扩散的元胞自动机模型及实现	363
11.3 演化及结果分析	364
11.4 结论	371
参考文献	371
第 12 章 室内人员疏散的元胞自动机模型研究	373
12.1 引言	373
12.2 模型与演化规则	376
12.3 计算机模拟及结果	377
12.4 结论	381
参考文献	382
第 13 章 谣言传播的计算实验建模与实现	384
13.1 概述	384
13.2 谣言传播的计算实验模型设计	386

13.2.1	社会网络模型设计	387
13.2.2	人个体设计	388
13.2.3	谣言的设计	390
13.2.4	人际交流行为的情景设计	392
13.3	实验实现	393
13.3.1	实验的实现	393
13.3.2	属性及默认值设定	394
13.4	实验结果分析	395
13.4.1	社会网络分析	395
13.4.2	邻居人数对实际传播过程的影响	398
13.4.3	谣言的敏感性分析	401
13.5	结论	406
	参考文献	407
第 14 章	基于主体的消费者购买决策及诱饵效应的模拟	409
14.1	问题的描述	409
14.2	消费者购买决策的传统理论框架	411
14.3	基于主体的消费者购买决策模型	412
14.3.1	有关行为和决策的心理学理论	412
14.3.2	购买动机模型	412
14.3.3	购买决策模型	413
14.3.4	动机函数	415
14.3.5	模型校正	416
14.4	诱饵效应的多主体模拟	418
14.4.1	诱饵效应	418
14.4.2	对单个个体的诱饵效应的数学分析	419
14.4.3	模拟实验	422
14.4.4	实验结果	424
14.5	结论	426
14.6	建议和进一步探索	427
	参考文献	427
第 15 章	森林地区人与自然的动力学模型	
	——跨地区和跨文化的整合	430
15.1	背景介绍	431

15.2	研究区域	436
15.2.1	总体特征概况	436
15.2.2	得克萨斯地区:大丛林和绿地廊道	437
15.2.3	委内瑞拉区域:卡帕罗森林保护区和伊马塔加山森林保护区	438
15.3	人类—自然耦合系统的概念整合	440
15.4	建模方法	443
15.4.1	得克萨斯:绿地廊道地区	443
15.4.2	委内瑞拉:卡帕罗森林保护区	448
15.5	模型框架合成	453
15.5.1	模型的独特性和共性	453
15.5.2	功能共性	454
15.6	结论	455
	参考文献	457

第 16 章	一个基于主体的原始农业社会的模拟模型	465
16.1	介绍	465
16.2	生长人工社会	467
16.3	模型概述	468
16.4	空间、时间和界限	468
16.5	环境	470
16.6	商品	471
16.7	主体的属性	472
16.8	生产和消费	474
16.9	市场	476
16.10	人口统计学	478
16.11	学习	479
16.12	模拟	479
16.13	结论:真实的世界和熟悉的模型	483
	附录 A	484
	附录 B	489
	参考文献	490

第 17 章	模拟非典:基于小世界网络的传染病模型和公共 卫生政策评估	492
---------------	---	------------