

DOI:10.11992/tis.201509019
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20160315.1239.016.html>

多 Agent 的复杂经济仿真系统构建策略

曲国华¹, 张振华², 徐岭³, 刘增良⁴, 曲卫华⁴, 张汉鹏⁵, 张强⁴

(1. 山西财经大学 管理科学与工程学院, 山西 太原 030006; 2. 广东外语外贸大学经济贸易学院, 广东 广州 510006; 3. 北京石油化工学院经济管理学院, 北京 102600; 4. 北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081; 5. 西南财经大学 工商管理学院, 四川 成都 610074)

摘 要:为了给复杂经济仿真系统找到通用的理论模型,通过对国内 Agent 经济系统的研究,提出复杂经济系统微观模型(CESM)。采用智能 Agent CESM 和亚小 CESM 模拟的实现方式,界定了个人、企业、政府、国外贸易的经济行为,采用模型转换和代码生成支持计算实验。根据所提出的 CESM 策略,设计和实现四部门复杂经济仿真系统(FEAS),最后用经济学的观点对结果进行解释,结果表明,CESM 最吸引人的地方是它通过异质性微观 Agent 来涌现宏观特征。系统的仿真过程表明提出的 CESM 策略是一种自治的、贴近复杂经济仿真系统问题研究的建模方法,可以在集成项目的工作中发挥重要的作用。

关键词: Agent; 复杂经济系统微观模型; 结点; 四部门复杂经济仿真系统
中图分类号: TP39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2016)02-0163-09

中文引用格式:曲国华,张振华,徐岭,等. 多 Agent 的复杂经济仿真系统构建策略[J]. 智能系统学报, 2016, 11(2): 163-171.
英文引用格式:QU Guohua, ZHANG Zhenhua, XU Ling, et al. A strategy to construct multi-Agent-based complex economic simulation systems[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2016, 11(2): 163-171.

A strategy to construct multi-Agent-based complex economic simulation systems

QU Guohua¹, ZHANG Zhenhua², XU Ling³, LIU Zengliang⁴, QU Weihua⁴,
ZHANG Hanpeng⁵, ZHANG Qiang⁴

(1. School of Management Science and Engineering, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China; 2. School of Economics and Trade, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China; 3. School of Management and Economics, Beijing Institute of Petrochemical of Technology, Beijing 102600, China; 4. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 10081, China; 5. School of Business Administration, Southwestern University of Finance and Economics University, Chengdu 610074, China)

Abstract:To find a suitable theory model for complex economic simulation system, complex economic system microcosmic model (CESM) was proposed through the domestic economic system for research and Agent classification, analyzing CESM mechanism. An implementation approach used CESM-simulation and sub-CESM simulation based on intelligent agent and person, enterprise, government and foreign trade actions was defined, and the simulation models are generated by model transformation in order to support computational experiments. Four departments complex economic simulation system FEAS designing and implementation is developed according to CESM strategy proposed. Finally, simulation results are explained from Macroeconomics view, and the results show that the most attractive characteristics of CESM is that it can analyze its macro character by research heterogeneous agents behavior. FEAS simulation testifies that CESM strategy proposed is self contained, and it plays an important role in the integration of simulation system project.

Keywords: Agent; CESM; Node; FEAS

收稿日期:2015-09-20. 网络出版日期:2016-03-15.
基金项目:国家自然科学基金项目(61175122, 71071018, 71201089);
北京市哲学社会科学规划项目(SZ201410017006);广东省
哲学社科和软科学基金项目(GD12XGL14, 2015A070704051,
2014A030313575);教育部人文社科项目(14XJC630010).
通信作者:徐岭. E-mail: xuling@bipt.edu.cn.

20 世纪末,随着复杂适应系统理论的完善与发展,许多学者开始从一个统一的视角来看待复杂适应系统^[1],而复杂经济系统就是一个由大量自由主

体构成的复杂适应系统。首先,复杂适应系统是通过众多的主体相互作用而表现出来的一系列宏观经济行为现象,每个主体的属性与行为是随机的与非线性的。从每个主体 Agent 只能获得系统的局部信息,但是作为系统的整体,每个 Agent 又总是随着社会经济网络的形成不断自发涌现出相应的现象。其次,经济系统的每个主体会通过自己的环境不断改变学习策略适应新的规则,这样各个主体各自的升级积累会呈现出系统的整体进化状况^[2]。

运用 Agent 技术于经济领域的研究由来已久,胡代平、王浣尘^[3]利用 Agent 将复杂经济系统的决策理论、宏观经济决策与仿真技术结合起来设计了宏观经济决策支持系统模型用来帮助用户做出更好的决策;Arthur 和 Holland 等合作的人工股市模型^[4]用于仿真在资产市场中买卖主体的行为;毛海军等^[5]对多 Agent 的宏观经济预测系统进行了大量的研究;王韶坤^[6]设计了基于 Agent 的企业经济行为流动仿真研究平台,对金融系统中资金流动仿真进行了探讨和研究;陈彬^[7]利用多 Agent 事件仿真技术设计了一个人工社会模型实例——人工社会;徐敏杰等^[8]设计了一个包括居民、市场、政府在内的三部门模型;朱永彬、薛耀文^[9]利用 Agent 技术、人工智能技术、计算机技术设计了基于 Agent 金融交易模拟终端的设计与实现。Aspen 模型^[10]是由 Rich Pryor 和其他研究人员在 Sandia 国家实验室开发研制出来的,它成为复杂经济系统模拟领域的经典以及 Epstein 和 Atella 共同设计的 Sugarscape 模型^[11]。可以发现,现有的研究都是着眼于模拟不同的战略和政策情景下,对复杂经济系统进行的模型构建。然而,如何针对无数的模型找到一个可遵循的理论模型,以服务于相关政策和重大战略决策实施效果模拟有待进一步研究,而且应用多 Agent 技术仿真四部门模型在相关文献中很少见到。

基于上述原因,从国外文献中,对一些典型的成功的微观模拟系统、各个要素以及它们的属性与行为进行抽象,提出基于 Agent 的复杂经济系统微观模型 (CESM)。由于设计出的 CESM 具有层次结构,最下面是由最微观的 Agent 充当,处在不同层次的 Agent 经过层层设计一直到顶端宏观模型,因此 CESM 是经过“由下而上”的设计思路来完成的。根据此思路,设计了 Agent 的四部门经济循环模型仿真系统。其中,Agent 用来充当 CESM 的微观主体,不同的 Agent 充当各自的角色,所有的微观主体相

互运行与学习涌现出了宏观经济运行特征。

1 复杂经济系统分析

复杂经济系统包含大量的微观部分主体 (Agent)^[12],这些微观成份不仅仅是聚集在一起,而且还存在着复杂的相互作用与相互影响。通过这些相互作用与相互影响进行复杂结构的演化,从而呈现一系列的宏观现象。模拟社会宏观经济现象从社会宏观角度和微观个体结合来考虑,因为在复杂经济社会系统中各个个体(微观主体)之间是非线性的,它们之间的关系难以用数学的式子来表达。模拟社会的宏观经济现象应当研究微观个体的行为,通过微观个体的行为成份入手,建立微观个体行为模型,根据个体之间局部交互和整体交互涌现宏观的总特征。微观模型当中的主体用 Agent 来充当。在经济系统中存在着无数的微观主体,如居民、企业、政府等,它们都具有自主性、自适应性。每个主体的微观经济行为汇集于宏观经济总量的发生与变化。我们可以把这些决策主体定义为 Agent,经济中的主体 (Agent) 可以是代理人、银行、消费者、政府、公司或投资者,因此对复杂经济系统的研究应从微观经济模型开始。人类个体能够识别从微观个体涌现出来的宏观特性,而这些宏观特性又影响到微观个体行为^[13]。

微观分析模拟概念由美国耶鲁大学奥乐卡特教授提出,随着计算机技术的发展,微观模型也得到迅速的发展和应用,在应用方面取得了显著的成绩^[14-15]。20 世纪 60 年代末到 70 年代中期,微观模拟模型在发达国家得到了蓬勃的发展,如美国的 TRIM、MATH、DYNASIM 等模型都在此期间得到了开发和应用。法国、英国、加拿大、澳大利亚等许多发达国家都建立了本国个人的税收模型^[16]。20 世纪 80 年代是稳定的发展时期,产生了多种微观模型^[14-18];美国 TRIM3 微观静态模型^[14,18];澳大利亚 STINMOD 微观静态模型^[16-17];欧盟 EURMOD 微观静态模型^[14];加拿大 SPSDM 微观静态模拟模型^[14],表 1 对这些模型进行了总结。

2 复杂经济系统的微观模型 (CESM) 的构建

2.1 CESM 构建思路

对多 Agent 典型的微观模拟模型系统研究和分析,抽象得出微观模拟模型的构成要素——微观主体

Agent。它是现实经济社会生活当中一个真子集。

表 1 复杂经济系统微观模拟模型一览表

Table 1 complex economic system microscopic simulation model list

| 模型简称 | 模型名称 | 研制者与开发日期 | 用户 | 应用 |
|---------|--|----------------------------------|---------------------|---|
| RIM | Refrom in Income Maintenance | 城市开发所经济局 亨德瑞克逊公司 | 总统“收入-支出”执会 | 1) 模拟工资税、社会保险税与联邦所得税 2) 模拟与政府制定的各种转移项目 |
| TRIM | Transfer Income Model | 城市开发所 亨德瑞克逊公司 (1970-1973) | 经济社会局 财政部 | 1) 1974-1977 年和 1979 年模拟进行的福利制度改革 2) 1975 年模拟新的保障项目 3) 与税收模型相连用以模拟政策所得税法规 |
| MATH | 家庭转移收入的 微观模拟模型 | 科学和 社会学会 | 粮食、食品 营养部 | 1) 用来模拟总统里根政府削弱政府福利性项目后果， 包括 AFOC 项目和一些食品券的项目 2) 用来模拟用户退休储蓄私人效果的措施 |
| TRIM2 | Transfer Income Model II | 城市开发所 (1978 年至今) | 卫生部预算参与 办公室、各基金会 | 1) 税收及转移项目的政策分析 2) 改变政策法律法规后的效果 3) 不同税收政策转移的效果分析 4) 采用不同经济综合效果分析 |
| TRIM3 | Transfer Income Model | 美国城市 研究所 (2000 年至今) | 政府决 策部门 | 1) 大部分转移的支付项目模拟 2) 对贫困家庭的临时补助项目及 一些基金保障项目分析 3) 医疗卫生服务方面 4) 税收方面包含美国联邦所得税的模拟分析 |
| STINMOD | National Center for Social and Economaic Modelling | 澳大利亚国家 模型中心(1993) 社会经济国家中心 | 澳大利亚政府 | 它主要用来模拟该政府在 政府转移支付、税收、 福利政策方面所产生的影响效果 |
| EURMOD | An Intergrated benefit-tax Model | 欧盟国家 (税收津贴模型) | 欧盟 5 个 成员国 | 欧盟成员五个国家之间财政政策变化时 对个人家庭收入的影响,欧盟成员国地区 和国家之间经济政策一体化时所产生的宏观和微观 方面的影响,同政策在各成员国之间所产生的影响, 以及同一政策在不同国家之间的影响。 |
| SPSDM | Social policy simulation Database Model | 加拿大研究 中心(1985) | 加拿大政府 | 应用于加拿大政府以及各州、私人机构、学术 团体与广大学生。加拿大政府用于税收改革、 老年人养老项目、失业保险改革、家庭补助、 联邦儿童救济等政策的分析 |

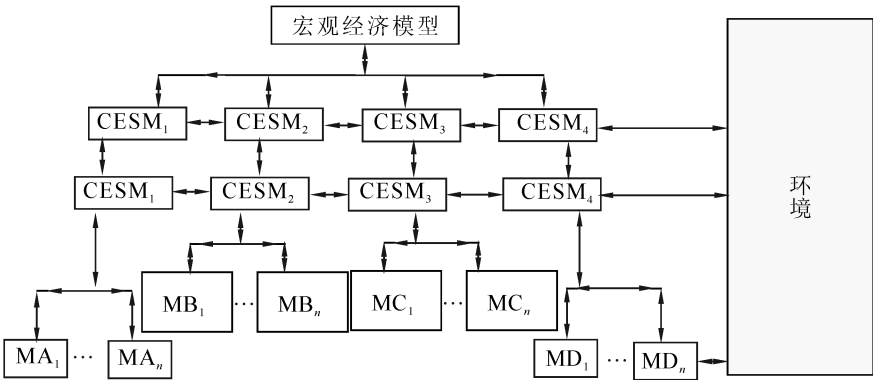


图 1 复杂经济仿真系统 CESM Agent 关系图

Fig.1 Relationship of CESM between simulation system and real system

构成微观模拟模型的微观主体 (Agent) 由于相关政策和预期目标的必要性,所需要的微观主体数量与特征是各异的,最终导致的仿真预测目标是不一样的。仿真的机理决定于所有涉及模型的微观主体各自的属性与行为与后天的不断学习。最终复杂经济系统的微观模型用来解释真实系统并要还原回现实的“真实系统”。

把真实系统根据仿真的目的分解为若干个微观单元 CESM Agent, 然后对微观单元进行建模, 最后再建立真实系统的仿真模型, 然后运行仿真模型得到真实系统的相似解的结果。通过对仿真结果的解释与预测得到真实系统的本质规律。

2.2 CESM 的基本设定策略

CESM 经济仿真在建模方法上强调构成宏观模型中各个微观模型 (CESM) 单元的属性与行为。它采用的是自下而上的模型, 并通过通信机制建立各微观主体之间的经济联系, 通过联系行为形成整体的宏观系统的框架, 在系统动态方面, CESM 仿真中引进了离散的虚拟系统 VTS^[19] 当作 CESM 仿真模型的时间基准, 用它来协同各 CESM 的仿真进程与控制。CESM 构建策略应当具有以下几个要点:

1) 一个宏观仿真系统通常由多种类型的 CESM 构成, 如图 1 所示, 同类型的 CESM 个体 Agent 应当具有相同的属性与行为的规则。CESM 的属性与行为用来改变 CESM 自身的状态, 或者以消息的形式传递给其他的 CESM 或者作用于环境, 从而产生对外界环境的影响。在一个宏观模型中, 每个 CESM 微观单元可以只有一个实例, 如图中的 MA₁, 也可以同时存在多个实例如 MB₁ 到 MB_N。

图 1 中, 为了一般性, 我们把 CESM₁、CESM₂、CESM₃ 和 CESM₄ 分别代表现实生活当中的个人、企业、政府和对外贸易, CESM_A 代表个人 (也称居民、消费者、劳动者等); CESM_B 代表企业的成员变量 (包括大型企业、中型企业、小型企业), CESM_C 代表的是成员变量 (包含国税局、财政厅等), CESM_D 代表对外贸易、成员变量 (具体为一些国家)。

2) CESM 间以消息的传递方式建立联系, 亚小的 CESM 构成小的 CESM, 小的 CESM 构成 CESM, 从下往上一级构成宏观经济仿真模型。CESM 发出的消息对其他各自的亚小 CESM, 小的 CESM、CESM 一直到宏观经济模型及所处的环境都产生影响。这些 CESM 收到信息时会进行独立决策, 以确定当前状态下自己的行为。

3) 在设计复杂经济系统时, 根据 CESM 的需要,

CESM 微观单元应当具有一定的学习能力, 通过环境的变化, CESM 要不断地完善自己并且要更新自己的状态与行为规则, 这种学习状态法可以通过遗传算法和人工神经网络智能算法来实现。

4) CESM 建立一个稳态进化的联系是以虚拟时间 VTS 作为时间钟来协同各 CESM 的进程。从复杂经济系统的逻辑来看, 不同的 CESM 在运行时往往是并行的。因此为了满足这些顺序条件, CESM 的设计时要采用并行计算算法与技术, 提高系统的整体运行效率。

为了更加理解 CESM 模型, 一般地可以用函数与方程组来表示 CESM。将每个 CESM 通过 n 个变量输入端与环境作用后通过 m 个变量输出端来达到局部的宏观模型, 如图 2 所示, 这里我们抽取 n 个 CESM。在一个复杂经济系统当中有若干个 CESM, 每个 CESM 要进行相互通讯 (通讯技术特点在第 4 节作了介绍), 每个 CESM 的属性、数量及规则是不同的, 但是它们的一般原理符合该模型。可以用一个数学函数来表示 CESM 机理: $y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中该函数可以是连续的也可以是离散的, 自变量 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 是每个 CESM 的输入参数, 因变量 y_i 是由于自变量产生的结果。其值决定于 f 这个定义法则, f 在这里就是规则与推理运算, 它是 CESM 的核心、每个 Agent 作用机理的大脑和每个 CESM 推理机工作的原理。不管 x_1, x_2, \dots, x_n 怎样变化, 只要 f 相同, 推理机输出结果是相同的。无数个 CESM 涌现的宏观效应就是宏观经济模型。

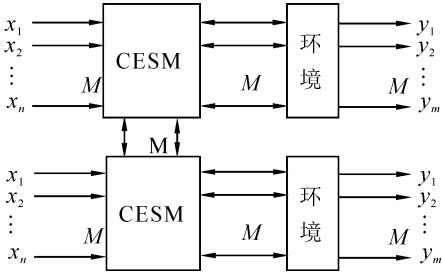


图 2 CESM Agent 作用机理策略
Fig.2 CESM Agent mechanism strategy

3 CESM 设计实例

3.1 四部门 CESM Agent 经济仿真系统设计

根据复杂经济系统微观模型 CESM 构建策略, 基于 Agent 的四部门经济循环模型仿真系统 (FEAS) 的 CESM 构建框架被建立如图 3 所示。利用 Agent 的诸多特性^[20-22]来仿真现实中的部门以及

部门中的成员与执行特定功能的具体部门。

图 3 中,CESM M 代表个人,CESM M_1 代表的是成员变量当中的个人(也称居民、消费者等);CESM N 代表企业,CESM N_1 代表的是成员变量(包括大型

企业、中型企业、小型企业),结点 CESM P 代表政府,CESM P_1 代表的是成员变量(包含国税局、财政厅等),结点 CESM Q 代表对外贸易,CESM Q_1 代表的是成员变量(具体为一些国家)。

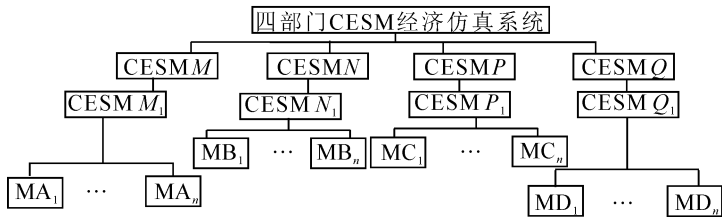


图 3 复杂经济仿真系统 CESM Agent 关系图

Fig.3 Relationship of CESM between simulation system and real system

在 FEAS 中用“CESM P”、“CESM Q”等来描述现实中的四部门,即利用 Agent 来扮演该 CESM 表示四部门当中的每个部门与它们之间的通讯行为;用亚小的 CESM 等来描述现实生活当中在每个部门工作的人员和完成某个任务的具体部门(如用 Agent 来扮演 CESM M_1 与 CESM N_1 完成“CESM M”与“CESM N”的任务)。在现实中每个部门及工作人员(运行主体)对应不同的 CESM 和不同的亚小 CESM M_1 ;对不同类型、不同的亚小 CESM M_1 来说,CESM 具有不同的类型特征。如果该亚小的 CESM 是工作人员(包括:性别、年龄、身份、职业、社会地位等);如果该亚小的 CESM 是具体部门(包括财务部、国税局等)。这些特征在一定程度上能够影响其行为类型。也就是说特定的亚小 CESM 其行为周期(如一个月、一个季度、一年等),其行为特征量,对亚小 CESM 是人员来说(工作周期、消费状况、储蓄状况、投资状况)变化不大;对亚小 CESM 是具体部门来说(购买、征税、进出口)几乎周期变化相同。因此可以用“部门特征与行为”来描述一个 CESM,“部门工作人员的特征与行为”描述一个亚小 CESM,再利用 Agent 来扮演该 CESM 和亚小的 CESM,实现模拟现实的目的。FEAS 中结点和成员变量代替 CESM 的具体研究请参考文献[20]。

3.2 四部门结点 Agent 模型设计

在 FEAS 中,为了更好地体现四部门之间的经济收入流量活动关系,在此文中只研究国民收入核算中四部门之间经济收入流量的一些关系。把四部门当中结点都看作是一个 Agent。让每个 Agent 担任社会其中的一个不同运行主体。运行主体抽象地说可以是有生命的,也可无生命的。不同类型的 Agent 所扮演的功能是不一样的,比如,个人结点 Agent 根据自己的职业、性别、收入分配状况、年龄来

实现各自的消费行为;企业 Agent 结点根据自己的发展规模给本企业工作人员发放不同等级的工资,对不同 Agent 结点的特性与行为分别设计,然后再利用 Agent 的通讯机制来实现它们之间的收入流量循环关系。模型包括 4 个不同的结点,它们在现实生活中分别代表个人、企业、政府、对外贸易。其决策函数来自于国民生产总值四部门构成的 $GDP = C + I + G + (X - M)$ 及其相关函数。四部门 FEAS 循环模型可参考文献[20]。

3.3 四部门结点 Agent 设定

模型包括企业、个人、政府和对贸易 4 个结点 Agent,包含具有不同生产规模且拥有分布在不同企业的行业、投资倾向和消费倾向各异的个人、以及具有履行不同职能的各级政府(包括财政厅、国税局)还包含作为经济系统枢纽的银行部门。四部门之间的最终经济活动靠银行账号来关联,四部门结点 Agent 整体关系如图 6 所示。设计的 FEAS 是按照宏观经济学当中国民收入核算中的收入流量循环模型流程来设计的^[24],先设计二部门结点,然后三部门结点,最后设计四部门结点,这样设计的目的是保证系统的规则库与规则事件具有协调性、连续性与整体性。限于篇幅个人 Agent 结点设定、企业 Agent 结点设定、政府 Agent 结点设定和国外 Agent 结点详细设定及四部门结点 Agent 推理机与规则库设计可参考文献[20]。

4 四部门 CESM Agent 经济仿真系统实现

系统运行环境采用电脑:联想 3000 870020z 台式电脑;操作系统环境:Windows XP Professional + SP2;数据库环境:Microsoft SQL Server 2005;开发语

言及平台: Microsoft VisualC#. Net + Microsoft studio 2008。通过 Agent 智能仿真技术,在多部门 Agent 的设计和实现过程中,主要参考面向对象技术中类和对象的概念,以及面向对象中的继承、多态,封装。在系统实现中采用 Agent Class 类作为各 Agent 的整体程序块。单个 Agent CESM 和亚小 CESM 是 Agent Class 类的实例,单个 Agent CESM、亚小的 CESM 特征和行为方封装在各 Agent 的属性和函数中。Agent 的实现过程采用事实推理策略和产生式系统;产生式系统当中写入各 Agent 要实现的知识与规则;事实推理策略采用规则的构建和前向推理^[22]。我们将 CESM 作为 Agent 在 Windows XP 环境下运行的应用程序来开发,基于目标实现的 CESM 运行过程中,它的交互界面、通讯、事务处理和学习方式采用并行应用的方式,在运行中相互之间要进行通讯。一个进程中可以有多个线程并行运行,而且位于该进程的地址空间中,因而线程通讯要比进程容易。Windows XP 支持多线程运行, VisualC#. Net + Microsoft studio 2008 类库也实现了多线程程序设计,因此,文中多线程被利用来设计并行运行系统各项功能。首先创建主线程,即用户界面程序,如图 4 所示,然后再创建工作线程。

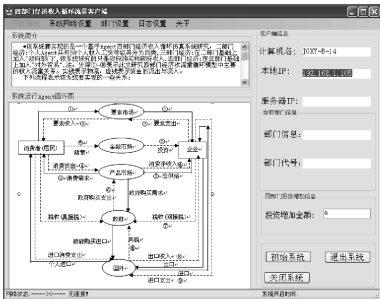


图 4 FEAS 初始化界面

Fig.4 Initialization interface of FEAS

图 4 中有一个四部门投资增加信息,这个输入框是较为重要的,我们可以在这一框中输入相应的投资增加额,将会看到系统输出端参数的变化,从未输入参数时输出端的信息到已输入参数时输出端信息的变化,我们可以看到系统仿真的可靠性与确定性。从而达到了解系统是否实现了相应的目的哪些方面仍需改进。

系统按照 FEAS 的仿真流程一步一步地实现了二部门信息界面和仿真平台,如图 5 和图 6 所示、三部门如图 7 和图 8 所示,四部门仿真模型与模拟平台如图 9 和 10 所示,并得到了一些相关的结论,从最后四部门的仿真结果可看出有个人消费 C 、政府购买 G 、企业投资 I 、对外贸易 $X-M$ 。



图 5 二部门 Agent 信息界面

Fig.5 Two department Agent information interface



图 6 二部门 Agent 运行系统仿真平台

Fig.6 Two department Agent operating system simulation platform



图 7 三部门 Agent 信息界面

Fig.7 Three department Agent information interface



图 8 三部门 Agent 运行系统仿真平台

Fig.8 Three department Agent operating system simulation platform



图 9 三部门 Agent 信息界面

Fig.9 Three department Agent information interface

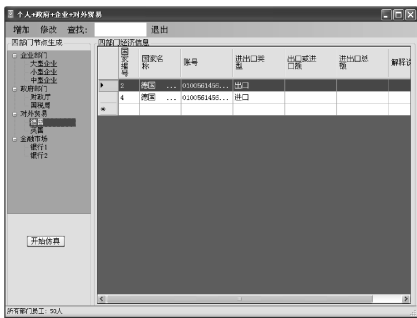


图 10 三部门 Agent 运行系统仿真平台

Fig.10 Three department Agent operating system simulation platform

5 仿真结果及分析

5.1 仿真 GDP 构成要素

系统最终要仿真的就是构成复杂经济系统的四部门(FEAS)的 50 个人、3 个企业、与中国进行对外贸易的两个国家及政府构成的系统在运行一年(一年为一个周期)时所呈现的特征,最后得到的就是个人总消费、企业总投资、政府总购买及对外净出口数额。根据 GDP 的构成公式我们可以很方便地得出 GDP,它是用来衡量国民经济活动的核心指标,也是分析一个国家一年经济总量是否增长的有力依据,有了这一概念我们就可以大致地了解构成这个系统的经济运行情况。我们设计仿真系统的目的也是要得到 GDP,这与实际宏观经济学当中的经济活动是较为吻合的,为了更清楚地标示仿真系统的各个要素在总 GDP 当中所占的比重,程序在实现这一情况时用到了圆形界面分析的程序,从圆形界面的特点我们可以一目了然地看出各个要素所占的 GDP 比重,如图 11 所示。该比重所反映的就是构成该模拟系统的原始百分比比重。但我们知道现实社会复杂经济系统当中的个人消费、政府购买、企业投资、对外净出口是在不断变化的,并且这四项当中的每一要素的变化都会对引起 GDP 的变化,为了与现实社会的运行状况进行近似模拟,系统在保持其他要素不变的情况下只对投资进行变化,在系统主界面图 7 当中的投资增加额输入框当中输入不同的值,如输入 10 000 元时(投资追加的方式是根据 GDP 的公式中投资这一变量而言的,这里指企业投资),然后对系统再进行模拟,得到系统仿真后的各个参数的变化。

投资后的 GDP 界面如图 12 所示,通过对投资前和投资后的对比,我们可以看到在投资增加 10 000 元后,仿真系统后的一系列参数发生了变化,通过四部门 Agent 投资前 GDP 分析与四部门 Agent

投资后 GDP 分析可以明显地得到在投资增加后对系统模拟的结果是:四部门 Agent 的四要素都显著地增加,从而引起 GDP 增加,对 GDP 饼状图分析发现个人消费、企业投资、政府购买、对外净出口额所占的比例明显加大。在柱状图表分析当中,投资后的 GDP 要比投资前的 GDP 明显偏高,这是符合常理和现实情况的。



图 11 投资前 GDP 分析界面

Fig.11 The GDP analysis interface before investment

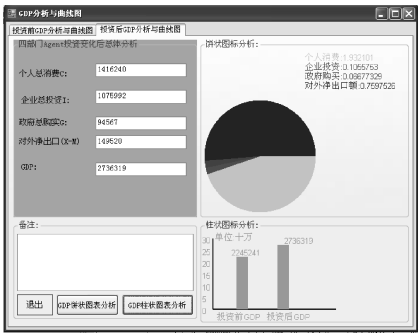


图 12 投资后 GDP 分析界面

Fig.12 The GDP analysis interface after investment

5.2 模拟结果的经济学分析

投资增加时,仿真的结果是 GDP 增加,为什么投资增加时,GDP 增加?本节应用宏观经济学当中的乘数论给予解释,其基本内容是:投资变动给国民收入总量带来的影响,要比投资本身变动更大,这种变动往往是投资变动的倍数,由于各经济部门是互相关联的,所以某一部门的一笔投资不仅会增加本部门的收入,而且会在国民经济各部门中引起连锁反应,从而增加其他部门的投资和收入,最终使国民收入成倍地增长。例如,若企业 Agent 投资增加一定的数值时,则这笔投资首先成为投资物品生产者 Agent 的收入;后者根据既定的边际消费倾向将收入的一部分用于增加消费,使这部分消费开支成为某些消费品生产者 Agent 的收入;而这些消费品生产者 Agent 又按照既定的边际消费倾向将收入中的一部分用于增加消费,又使这些消费开支成为另一些消费品生产者 Agent 的收入。照此类推下去,最

终引起总收入的增加额,可达到最初企业 Agent 投资增加额的数倍,其倍数或乘数的大小根据边际消费倾向的数值大小而定,其数学公式表达如下:

设 h 代表投资乘数,只要边际消费倾向一定,在国民生产总值 $GDP = C + I + G + (X - M)$ 公式中, $C = a + by$ (二部门经济),只要边际消费倾向 b 一定,可知任何投资将最终引起收入增加的倍数 h , $h = \Delta Y / \Delta I = \Delta Y / \Delta Y - \Delta C = 1 / 1 - \Delta Y / \Delta C$, 其中, $\Delta Y / \Delta C$ 为边际消费倾向。FEAS 设计中,边际消费倾向为 $3/4$,则 $h = 4$ 。若企业 Agent 投资增加 10 000 元时,这意味着国民收入(工资和利润)也相应地增加。这种收入的增加又增加了个人 Agent 消费支出 $b \times 10\,000$ 元,这又增加了生产消费品企业 Agent 的总收入,这第二轮收入的增加又增加了消费支出,增加量为 $b \times b \times 10\,000$ 元,这种反馈会继续下去。最终 10 000 元的收入经过四部门 Agent 的循环后将产生 40 000 元的对物品和劳务的需求。因此乘数论说明了初始投入可以把支出变动的影响扩大多少。构成 GDP 中的任一项最初一个较小的变动将对总需求产生较大的影响,从而对 GDP 国民生产总值产生较大影响,这也就是投资增加 10 000 后,会有投资后与投资前 GDP 有较明显变化的原因。

6 结束语

复杂经济系统是一类典型的复杂适应系统,由于涉及众多主体的复杂行为,传统的数学建模方法很难对此进行有效地描述、分解和求解。于是在研究国内外文献的基础上,抽象出复杂经济系统思想,构建了复杂经济系统的 CESM 的工作原理,给出了 CESM 一般的数学模型。并刻画出四部门 FEAS CESM 的架构。在此基础上采用基于 Agent 的 CESM 作用机理模拟了现实世界中二部门、三部门和四部门经济收入流量运行情况,对基于 Agent 的四部门收入流量循环模型进行了初步的尝试和实现。所设计的 Agent 智能体所产生的属性与行为具有一定的选择性和针对性。通过设计四部门经济收入流量运行的方式来为国民收入核算提供一定的宏观经济分析和宏观经济决策。虽然 CESM 策略的研究处于起步阶段,有许多问题需要进一步地深入探讨,但是提出的 CESM 模型无疑将有助于为专家、学者提供解决复杂经济系统的一种建模策略,从而能够在未来的研究中设计出较高要求的仿真系统用来分析和评估我国各项改革方案和措施。

需要指出的是文中构建的结点 Agent 和成员变

量 Agent 的行为特征来源于其行为特征库,由于对提取相应的行为特征库实例数据量不足,而且仿真的参数变化量只涉及到了投资,与实际应用存在着一定差距,系统相应地存在一定的不足,每个部门当中实例成员变量不多;结点 Agent 和成员变量 Agent 的行为规则不够完备,对仿真参数、模型设计有待进一步研究,这将在今后的研究加以充实和完善。

参考文献:

- [1] 范如国, 叶菁, 杜靖文. 基于 Agent 的计算经济学发展前沿: 文献综述[J]. 经济评论, 2013(2): 145-150.
FAN Ruguo, YE Jing, DU Jingwen. Frontier development of Agent-based computational economics: a survey[J]. Economic review, 2013(2): 145-150.
- [3] ARIFOVIC J, KARAIIVANOV A. Learning by doing vs. learning from others in a principal-agent model[J]. Journal of economic dynamics and control, 2010, 34(10): 1967-1992.
- [3] 胡代平, 王浣尘. 基于 Agent 的宏观经济决策支持系统[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(1): 33-37.
HU Daiping, WANG Huanchen. An Agent-based macro-economy decision support system[J]. Systems engineering-theory & practice, 2002, 22(1): 33-37.
- [4] ARTHUR W B, HOLLAND J H, LEBARON B, et al. Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market [D]. London: Brunel University, 1996: 25-30.
- [5] 毛海军, 唐焕文, 张杰. 基于多 Agent 的宏观经济智能预测决策支持系统研究[J]. 运筹与管理, 2003, 12(6): 16-21.
MAO Haijun, TANG Huanwen, ZHANG Jie. Research on the multi-Agent based macro-economy intelligent forecast decision support system[J]. Operations research and management science, 2003, 12(6): 16-21.
- [6] 王绍坤. 金融网络中基于 Agent 的企业经济行为资金流动仿真研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009: 12-20.
WANG Shaokun. Research on Agent-based corporate account capital flow system simulation in financial network [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009: 12-20.
- [7] 陈彬, 张鹏, 张烙兵, 等. 面向应急管理的人工社会元建模方法[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2490-2503.
CHEN Bin, ZHANG Peng, ZHANG Luobing, et al. An emergency management oriented meta-modeling approach for modeling artificial society[J]. Systems engineering-theory & practice, 2015, 35(10): 2490-2503.
- [8] 徐敏杰, 胡兆光. 基于 Agent 的经济政策对电力消费影

- 响模拟实验[J]. 系统管理学报, 2011, 20(5): 539-548.
- XU Minjie, HU Zhaoguang. Simulating impact of macroeconomic policy on electricity consumption based on multi-Agent[J]. Journal of systems & management, 2011, 20(5): 539-548.
- [9] 朱永彬, 薛耀文, 高慧敏, 等. 基于智能 Agent 的金融交易模拟终端设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8): 249-253.
- ZHU Yongbin, XUE Yaowen, GAO Huimin, et al. Design and implementation of finance business simulation terminal based on Agent[J]. Computer technology and development, 2008, 18(8): 249-253.
- [10] BASU N, PRYOR R, QUINT T. ASPEN: A microsimulation model of the economy[J]. Computational economics, 1998, 12(3): 223-241.
- [11] EPSTEIN J M, AXTELL R L. Growing artificial societies: social science from the bottom up[M]. Washington, DC: Brookings Institution Press, 1996: 45-62.
- [12] GILBERT N. Emergence in social simulation[M]//GILBERT N, CONTE R. Artificial Societies: the Computer Simulation of Social Life. London: UCL Press, 1995: 144-156.
- [13] MINSKY M. Society of Mind: a response to four reviews[M]//CLANCEY W J, SMOLIAR S W, STEFIK M J. Contemplating Minds: a forum for artificial intelligence. Cambridge, MA: MIT Press, 1994: 252-278.
- [14] GUPTA A, KAPUR V. Microsimulation in government policy and forecasting[M]. New York: Elsevier Science Ltd, 2000: 56-80.
- [15] 李善同, 高嘉陵. 微观分析模拟模型及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 22-30.
- [16] HAVEMAN R H, HOLLENBECK K. Microeconomic simulation models for public policy analysis[M]. New York: Academic Press, 1980: 45-62.
- [17] GIANNARELLI L. An Analyst's Guide to TRIM2: the transfer income model[M]. Washington, DC: The Urban Institute, 1992: 22-45.
- [18] 史忠植. 高级人工智能[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 34-42.
- [19] ZHANG L B, QIU X G, ZHANG P, et al. Design and realization of agent action schedule component in artificial society simulation [C]//Chinese Automation Congress (CAC), 2013. Changsha: 2013: 274-279.
- [20] 曲国华, 薛耀文. 基于 Agent 四部门经济循环模型仿真系统研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(4): 210-213.
- QU Guohua, XUE Yaowen. Study of Agent-based four departments' economy cycling model analogue system[J]. Computer technology and development, 2011, 21(4): 210-213.
- [21] 尹翰坤, 尹超, 王伟, 等. 基于 Multi-Agent 的制造资源云服务化封装方法及适配器研究[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(12): 3182-3188.
- YIN Hankun, YIN Chao, WANG Wei, et al. Cloud service encapsulation adapter for manufacturing resource based on Multi-Agent[J]. Computer integrated manufacturing systems, 2014, 20(12): 3182-3188.
- [22] 孙彬, 陈秋双. 基于多 Agent 的多式联运运输决策与动态协调[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(12): 3193-3201.
- SUN Bin, CHEN Qiushuang. Transportation decision and dynamic coordination for multi-modal transport based on multi-Agent system[J]. Computer integrated manufacturing systems, 2013, 19(12): 3193-3201.
- [23] 高鸿业. 西方经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006: 12-45.

作者简介:

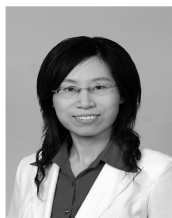


曲国华,男,1982年生,博士研究生,主要研究方向为模糊决策、人工智能。先后参与国家自然科学基金等项目多项。发表学术论文10余篇,其中被SCI检索2篇,EI检索1篇,CSSCI检索6篇。



张振华,男,1972年生,副教授,博士,中国计算机学会会员、中国人工智能学会粗糙集与软计算专委会委员。主要研究方向为数据挖掘、智能计算、多属性决策、软件项目风险、服务外包和战略决策。主持教育部和广东省等各级纵向基

金项目12项,目前在研省部级项目5项。作为核心成员参与完成国家自然科学基金项目4项,省部级项目6项。发表学术论文40余篇,其中被SCI和EI检索30余篇。



徐岭,女,1974年生,博士后,主要研究方向为网络经济、气候变化与低碳经济、环境与资源保护法。近3年主持和参与国家自然科学基金项目1项,国家社会科学基金项目1项,北京市哲学社会科学基金项目2项。发表学术论文10余篇。