

国家自然科学基金项目·管理科学与工程系列丛书

金融市场仿真

——从微观个体行为到复杂宏观市场动态

高宝俊 著

非
外
借



科学出版社

国家自然科学基金项目·管理科学与工程系列丛书

金融市场仿真

——从微观个体行为到复杂宏观市场动态

高宝俊 著

本书受国家自然科学基金资助(71771182)

科学出版社

北京

内 容 简 介

基于 Agent 的仿真是一种新兴的经济建模方法,它通过模拟微观层面的个体行为及其相互作用机制,自底向上地得到宏观层面的市场动态特征。本书探讨如何利用基于 Agent 的仿真技术,研究金融市场中交易者的行为和市场微观结构对宏观层面的市场特征的影响。本书主要研究了如何建立基于 Agent 的连续竞价市场模型,不同的交易机制对市场格式化特征的影响,交易者间的互动行为的建模及其对市场的影响,以及股票市场与股指期货市场联动效应的建模与分析。

本书提供了各种模型的原理、实现思路和模型的运行结果,可作为金融工程、系统仿真等领域研究人员的参考书目。

图书在版编目(CIP)数据

金融市场仿真:从微观个体行为到复杂宏观市场动态/高宝俊著.—北京:科学出版社,2018.3

ISBN 978-7-03-054635-7

I. ①金… II. ①高… III. ①金融市场-仿真-研究 IV. ①F830.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 239954 号

责任编辑:王丹妮/责任校对:王晓茜
责任印制:吴兆东/封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张:10 3/4

字数:235 000

定价:76.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

20 世纪 90 年代以来，随着高频金融数据更加容易获得，实证研究发现金融交易数据普遍具有一些与标准金融理论相矛盾的格式化特征，如收益的胖尾分布、波动聚集等。与此同时，随着复杂性科学的兴起和计算科学中 Agent 技术的逐渐成熟，基于 Agent 的仿真成为一种新的经济建模方法。为了探寻金融市场中的格式化特征等复杂现象的形成机理，经济学、物理学和计算科学等领域的研究者利用基于 Agent 的仿真技术，自底向上（bottom-up）地通过模拟交易者的智能、自适应的行为和个体之间的非线性作用机制从而得到市场的宏观特性，这样就从交易者行为的角度揭示了格式化特征等复杂现象的成因。

本书利用基于 Agent 的仿真技术研究了微观层面的 Agent 行为和市场微观结构对宏观层面的市场特征的影响，主要内容如下。

首先，针对社会经济系统的特点提出了一种基于 Agent 的仿真模型的建模方法和模型的实现方法；建立并实现了一个基于 Agent 的连续竞价市场模型，模拟了连续竞价市场中 Agent 的决策，订单的提交、撮合与价格的形成等过程。

其次，利用所建立的模型，比较了连续竞价机制和现有研究中普遍采用的非均衡价格决定机制对胖尾分布和波动聚集的不同影响，得到了连续竞价机制本身就是导致格式化特征的一个重要因素的结论；模拟了不同涨跌幅限制条件下的市场状况，得到了市场规模和交易者结构与涨跌幅限制实施效果之间的关系。

再次，建立了一个以 Agent 间的局部互动(local interaction)为主要特征的模型，得到了 Agent 间相互模仿可以产生胖尾分布、波动聚集等格式化特征并能导致投资群体突现的结论，较深入地分析了产生格式化特征的原因及模型中各因素与结果之间的关联关系。

最后，建立包含股票市场与股指期货市场两个市场的模型，模拟了两个市场的并行运作过程，得到了不同条件下股指期货市场的推出对股票市场波动性的影响，再现了类似于“87 股灾”的市场崩跌现象并分析了导致这一现象的条件。

高宝俊

2017 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 金融交易数据的格式化特征	1
1.2 自底向上的微观仿真技术	3
1.3 基于 Agent 的金融市场仿真	7
1.4 本书的主要内容与框架	13
第 2 章 相关的理论与方法	18
2.1 Agent 与多 Agent 系统	18
2.2 基于 Agent 的仿真模型的建模方法	24
2.3 基于 Agent 的仿真模型的实现方法	28
2.4 格式化特征的检验方法	34
第 3 章 基于 Agent 的连续竞价市场模型的建立与实现	41
3.1 模型的建立	41
3.2 基于 Swarm 平台的模型实现	52
第 4 章 价格形成机制对格式化特征的影响	58
4.1 问题的提出	58
4.2 所有 Agent 均为随机交易者时两种机制下仿真结果的比较	63
4.3 所有 Agent 均为基本分析者时两种机制下仿真结果的比较	70
4.4 小结	75
第 5 章 Agent 的交易策略和涨跌幅限制措施对市场的影响	77
5.1 Agent 的交易策略对市场的影响	78
5.2 涨跌幅限制措施实施效果的仿真研究	84
第 6 章 Agent 间局部互动对格式化特征的影响	89
6.1 Agent 间局部互动模型的建立	90
6.2 仿真结果与分析	94
6.3 仿真结果的讨论：参数变动的的影响	103
6.4 小结	111

第 7 章 股指期货市场的推出对股票市场的影响	113
7.1 两市场模型的建立	113
7.2 股指期货市场与股票市场波动性的关系的仿真研究	121
7.3 套期保值者和套利者的互动与市场崩跌现象的再现	127
7.4 小结	129
第 8 章 研究结论	131
参考文献	133
附录	142
附录 1 连续竞价市场模型中主要 Agent 的定义	142
附录 2 Agent 间局部互动模型中极端收益的产生与模式的震荡过渡	149
附录 3 两市场模型中主要 Agent 的定义	152

第1章 绪 论

1.1 金融交易数据的格式化特征

有效市场假说 (efficient market hypothesis, EMH) 是现代数量化金融理论的基石, 它为运用概率微分来分析金融市场铺平了道路。然而这一基础性的假设却是金融学领域最富争议并且至今仍然未能形成一致意见的假设命题之一。

有效市场假说相关的研究可以追溯到 1900 年巴舍利耶 (Bachelier) 关于股票价格随机游走行为的研究。Fama (1965) 在早期相关研究的基础上正式提出了有效市场假说: 如果在一个证券市场中, 证券价格完全反映了所有可能获得或利用的信息, 每一种证券的价格始终等于其投资价值, 那么就称这样的市场是有效的。Fama (1970) 重新定义了有效市场, 指出有效市场是指: “投资者都利用可获得的信息力图获得更高的报酬, 证券价格对新的市场信息的反应是迅速而准确的, 证券价格能完全反映全部信息, 市场竞争使证券价格从一个均衡水平过渡到另一个均衡水平; 而与新信息相应的价格变动是相互独立的, 今天的价格变动与昨天的价格变动无关, 或说价格变化是随机的。”

在金融研究中, 价格的 (相对) 变化常以式 (1-1) 形式的对数收益来衡量 (Campbell et al., 1997)。

$$r_t = \log p_t - \log p_{t-1} \quad (1-1)$$

其中, r_t 为对数收益; p_t 和 p_{t-1} 分别为 t 时刻的价格和 $t-1$ 时刻的价格。本书中提到收益时如无特别说明指的都是对数收益。

金融资产的收益是随机变量, 它的分布形式的描述是金融学中的一个非常重要的问题。在有效市场假说的框架下, 收益是独立同分布的随机变量, 因此根据中心极限定理, 如果收益的观测值足够多的话, 收益将趋近于正态分布。标准金融理论中的证券投资组合、风险管理及期权定价等模型都必须知道收益率的分布, 并且这些理论中都假定收益是服从正态分布的。因此, 如果收益正态分布的假定有问题的话, 那么许多统计分析特别是相关系数和 t 统计量等统计推断都要大打折扣并有可能给出误导性的答案, 相应地, 这些模型的正确性和有效性也就值得

推敲(彼得斯, 1999)。

自 Mandelbrot(1963)关于棉花价格波动的研究开始,人们逐渐认识到金融资产在短期内的收益并非服从正态分布,收益概率密度函数的尾部的观测值要比正态分布所刻画的多,这种特征被称为胖尾分布。Mandelbrot(1963)首先提出用稳定分布代替正态分布,稳定分布是中心极限定理的一种推广,正态分布是它的一种特例。

近年来,随着高频金融数据更容易获得,许多学者特别是物理学家对收益的分布形式进行了大量的实证研究。Mantegna 和 Stanley(1995)对 S&P500 指数的数据进行研究发现,收益的中央部分可以与稳定分布很好地吻合,而尾部则有显著不同——虽然收益的尾部要比正态分布胖,却要比稳定分布瘦一些。因此提出用截尾的稳定分布(truncated lévy)——中央为稳定分布,尾部为指数分布作为收益的分布形式。由此引起了人们对收益尾部概率分布形式的进一步研究:Gopikrishnan 等(1999, 1998)、Plerou 等(1999)、Lux(1996)、Guillaume 等(1997)、Wang 和 Hui(2001)等大量的对不同国家和地区的股票市场、外汇市场、债券市场的实证研究发现,收益累积分布函数的尾部服从幂律(power law)分布:

$$P(r) \sim r^{-\alpha} \quad (1-2)$$

综合这些研究结果,累积分布函数尾部的幂指数的范围一般为 $2 < \alpha < 5$ 。

虽然实证研究表明金融资产的收益不存在线性相关性,但 Ding 等(1993)、Delima 和 Crato(1994)、Ramsey(1997)、Ramsey 和 Zhang(1997)等研究发现收益的二阶矩即波动性(volatility)却是自相关的并且缓慢衰减,这种现象称为波动聚集(volatility clustering)。波动聚集说明了前一时期较大的价格变动往往伴随着随后一时期同样较大的价格变动,前一时期较小的价格变动往往也紧跟下一时期较小的价格变动。具有波动聚集特征的收益时间序列可以观察到波动较大的时期和波动较小的时期交替出现且持续一段时间。波动聚集的存在说明价格变动虽然不显示序列相关,但前后两个时期的价格变动仍然不是独立的,存在着非线性相关,这就与有效市场假说所阐述的价格变动互不相关相矛盾。

Cizeau 等(1997)、Liu 等(1997, 1999)、Engle(1995)、Comte 和 Renault(1996)、Cont 等(1997)、Cont(1998)、Granger 和 Ding(1996)、Pictet 等(1997)等对不同市场的实证研究与相关的理论研究表明绝对收益或收益平方的自相关函数并非以指数方式衰减,而是以幂律的方式衰减:

$$C_{|r|}(\tau) \sim \frac{A}{\tau^{\beta}} \quad (1-3)$$

且幂指数 $\beta \in [0.2, 0.4]$ 。绝对收益或收益平方以幂律方式缓慢衰减说明序列存在

着长期记忆，这也与有效市场假说相矛盾。

此外，人们还发现了实际交易数据具有损益不对称性 (gain/loss asymmetry)、交易量-波动性相关 (volume/volatility correlation)、杠杆效应 (leverage effect) 等特征。这些特征是各金融市场普遍存在的规律，与具体的市场和金融资产无关，并且是以高斯分布假定为基础的标准金融理论所难以解释的，因此称之为格式化特征 (stylized facts) 或“异常现象” (anomalies, puzzles)。在金融学中异常现象一词除了上述特征之外，还包括股权溢价之谜、周末效应、小公司现象等现象，即异常现象的含义要比格式化特征宽泛。因此，在相关文献中一般把这些交易数据表现出来的统计特征称为格式化特征 (Cont, 2001; Bouchaud, 2001)，本书也采用格式化特征这一说法。

由于各实际市场中普遍存在的格式化特征与标准的金融理论相抵触，为了解释这些格式化特征的形成机理，经济学家和物理学家作了大量的工作。他们一方面利用实际交易的高频数据研究了这些数据的统计分布特征，建立描述价格运动的随机过程模型。另一方面试图从微观层面的交易者的行为出发建立仿真模型，通过模型的运行在计算机上“再现”价格运动的格式化特征。由于模型已经建立了假设(交易者的行为)和结论(格式化特征)之间的联系，一旦模型“再现”了格式化特征，就从微观的交易者行为的角度对格式化特征的形成机理作出了解释。

1.2 自底向上的微观仿真技术

1.2.1 社会经济系统仿真方法的演进

近年来在社会科学研究中仿真方法之所以逐渐为人们接受和重视，在需求方面来源于社会经济系统内在的复杂性和传统研究方法的不足，同时计算机仿真技术特别是基于 Agent 的仿真技术的发展为复杂经济系统的仿真提供了现实的可能。

仿真作为一种系统建模方法与工具有着诸多优点，这种工具在理论发现和理论的严格描述方面具有很大的潜力。首先，程序语言相对于大多数的数学工具而言，更具有表达力而其抽象程度又较低。其次，编程相对于数学公式系统，更容易处理并行过程和无序行为。再次，程序更容易模块化处理，可以方便地进行变化而不必担心影响全局设计，而数学系统一般欠缺这种模块化。最后，利用仿真可以较容易地在模型中设立不同种类的行为者，如模拟具有不同社会信念、不同行为能力的各类人群，而这对于数学方法而言相对较难。

社会经济系统作为一类典型的复杂系统，它的求解分析更加依赖于仿真技术。

例如,社会科学家可以建立一个只关注某几个方面社会现实的简单模型,然后在这个“人造社会”中借助仿真方法研究不同理论的运行结果。在这个过程中,研究者必须把原先用文字描述的理论严格地表述出来,以进行编程工作。对理论进行严格表述的这个过程,本身是一种非常重要的理论提炼与重建过程。从这个意义上讲,计算机仿真在社会科学领域中的作用类似于数学在物理学中的作用。

在社会科学中利用仿真的研究方法,相对来说是比较新的思想。尽管这方面较早的例子可以追溯到 20 世纪五六十年代,但实际上这种方法在社会科学领域的广泛应用只是 20 世纪 90 年代以来的事情。

20 世纪五六十年代,由 Orcutt (1957) 提出的一种叫作“微观分析模拟模型”(microanalytical simulation, 或简称为 microsimulation) 的方法由于政策分析的需要而大行其道。这种仿真方法直到最近还是唯一一种在社会科学领域被广泛接受和应用的仿真技术。微观分析模拟模型技术是建立在一个较大的随机样本基础上的,这个样本取自居民、家庭和公司等群体。事件将决定个体在每一年(具体长度取决于仿真时钟的单位)的变化情况。仿真时钟不断推进,事件也不断重复进行,使整个样本不断变化演进。经过模型运行,可以计算出样本中统计数字的总和,用来预测总体的未来趋势。许多国家(特别是美国、德国、澳大利亚和加拿大)成功建立了这类模型,在诸如税收、福利等许多领域的政策设计方面起到了重要的作用(Orcutt, 1957; Orcutt et al., 1961; Citro and Hanushek, 1991; Gilbert and Troitzsch, 1999; Pryor et al., 1996; Joachim, 1996; Lewis and Michel, 1990; 李善同和高嘉陵, 1999)。

20 世纪 40 年代由冯·诺伊曼提出的元胞自动机 (cellular automata, CA, 也译作细胞自动机) 非常适宜于研究系统宏观状态演化是由组成系统的大量的微观个体之间的局部相互作用所决定的问题。元胞自动机模型中包含许多规则排列的单元格 (cell), 每个单元格都具有几种状态,并在这些状态之间进行变换。元胞自动机模型首先在物理学等自然科学中获得广泛应用,物理学家利用这种模型来解释诸如磁性物质、液体湍流、晶体生长和土壤侵蚀等问题。元胞自动机模型为模拟某些社会互动过程提供了一个有益的模型框架,20 世纪 70 年代以来特别是 20 世纪 90 年代以后这种模型逐渐为社会科学家所接受,目前已广泛应用于研究消息、观念、文化、新产品和新技术等在人群中的传播与扩散,以及不同种族、身份的人群聚居在一起从而形成种族间的自然隔离、政治组织的突现等问题 (Sakoda, 1971; Axelrod, 1994)。

在 20 世纪 90 年代早期,源于计算机科学中的分布式人工智能多 Agent 技术的发展使得仿真在社会科学研究中逐渐成为一种重要的工具。Agent 中文译为代理人、智能体或者主体等,简单来说它是自包含的 (self-contained)、能感知环境

并据此控制自身行为的智能程序体。Agent 技术的出现使得对自治的经济个体和它们之间的互动关系进行模拟成为可能：将微观经济个体作为 Agent，一定数量的相互交互的 Agent 就构成了一个多 Agent 系统 (multi-agent system, MAS)。Agent 有各自的属性，并用数据、关系式、规则及人工智能算法等多种方式来描述它的固定的、变化的、随机的及智能的行为。Agent 具有独立的目标，它们之间进行通信获取信息并以此为行为决策的依据。把一个经济系统构建成一个多 Agent 系统后，就可以在计算机上模拟一个时间段中各个 Agent 的通信和行为，也就是在计算机上模拟了该系统的运行过程。

微观分析模拟模型、元胞自动机和基于 Agent 的仿真模型虽然起源和发展的历程不同，但有其内在的共同点：它们都是一种“自底向上”的建模方法。其基本思想是：选取构成系统的有代表性的多个微观个体作为研究对象，在计算机上模拟这些微观个体的行为和它们之间的交互，微观个体的行为改变其属性值，而系统的宏观层次的属性值是由这些微观个体相应的属性值加总 (aggregate) 得出的。因此，有时这些方法不加区别地统称为“微观仿真” (microsimulation 或 microscopic simulation)。

近年来，在社会科学中特别是经济学中涌现出了大量的以基于 Agent 仿真为工具的研究论文，除了技术本身适宜于模拟经济个体的智能、自适应行为之外，复杂性科学的兴起是一个非常重要的原因。

1.2.2 经济系统的复杂性

复杂性科学是 20 世纪 90 年代后期兴起的一个从复杂系统视角来研究问题的新兴学科。复杂系统与构成经典科学研究焦点的简单系统相比，有着根本性的差异。复杂系统归结起来有下述特性：系统具有中等数目的个体；每个个体还具有智能性和自适应性；系统的个体只能获取局部信息；个体与环境之间存在非线性的作用机制；系统由于个体之间及其与环境的交互而产生不可预期的整体性 (Arthur, 1999)。

很自然，经济系统是一个复杂系统。在经济中存在着中等数目的主体，如企业、居民等；它们都是具有智能性、自适应性的决策主体，在一个信息不对称的环境中实现其效益最大化；每个主体的微观经济行为最后汇集为系统宏观总量的变化。与其他系统不同的是，经济系统中的主体在作出反应时有一定的策略和远见，他们会考虑到不同的行为可能造成的结果，这使经济学与自然科学相比增加了一种新的复杂性。

总的来说，传统的经济模型以一种“自顶向下” (top-down) 的观点来看待市场和交易——把整个经济模型看作一个整体，通常用一些方程来描述市场中各

个属性之间的关系，经济系统中的所有交易都是由一个无所不能的决策者决定的，这就是凯恩斯理论的基本思想。这种观点的问题在于它考虑的只是宏观总量之间的关系，而不处理产生这些宏观总量的微观经济个体获取信息、决策和交易等过程。

传统的经济学是以均衡为前提的。在这种均衡的经济系统中，供给等于需求。当系统受到扰动的时候，外生的因素使其偏离均衡，而系统将以线性方式回归均衡。然而，现实中的世界并非如此井井有条。一个有活力的系统总是在不断进化之中，往往是充满了混沌与模糊，均衡的状态很少出现。因此，用均衡理论来给远离均衡状态的系统制定模型，结果往往相差甚远。

传统经济学一般将经济个体作为理性的经济人来处理，并且个体的行为不随着环境变化而调整。而现在许多经济学家不满于这种现状，开始研究经济中的微观个体自主学习以适应环境的变化和个体之间的非线性相互作用等智能行为对经济总量的影响。

复杂性使经济系统不再表现为确定性、可预测和机械的，而是基于过程的、自组织的和不断演化的。对于具有内在的、本质的复杂性的经济系统，传统的数学研究方法面临着由其假设的局限性所造成的障碍。因此，需要采用新的工具与方法，从经济系统的复杂性出发对其作出不同角度的描述与研究，在这一点上仿真建模方法将担当重任。

利用仿真技术从复杂性的角度来研究经济系统的先驱是美国的桑塔菲研究所(Santa Fe Institute)。桑塔菲研究所等研究机构的经济学家不再以均衡静态的视角来看待经济系统，而是将经济系统作为一个复杂系统，注意的重心不再是系统结构的现状而是形成这一结构的原因和过程。他们研究的是系统中各微观经济个体的行动、策略或预期是如何共同导致系统的总量结果，在他们的研究中微观的经济个体具有智能性、自主性和记忆，能够主动地对他们共同产生的总量模式作出反应。

基于经济系统复杂性的思想，借助于计算科学中的 Agent 技术和学习、进化算法等工具，桑塔菲研究所的 Arthur 等从 20 世纪 90 年代初开始试图在计算机上建立虚拟的“人工金融市场”(artificial stock market, ASM)。在这一市场中交易者(Agent)在其投资实践中通过学习来不断寻找最优的交易策略以适应不断演化的市场动态，利用这一模型 Arthur 等关心的是 Agent 的学习和进化行为会对市场动态——价格、交易量等产生什么样的影响。

桑塔菲研究所的经济学家的研究结果产生了一种新型的经济学分支——复杂经济学，它不是权威经济学流派的附庸，而是一种在更一般、非均衡层次上的理论。他们的研究通过《复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学》、《虚实世界——计算机仿真如何改变科学的疆域》和《从牛顿、达尔文到巴菲特：投资

的格栅理论》等著名的科普著作而广为人知，正是由于他们的开拓性的工作，利用仿真技术从复杂性的角度的经济研究方法逐渐为学界认同和接受。

在桑塔菲研究所的学者的大力推动下，基于 Agent 的仿真技术的发展为模拟社会经济系统中个体的自适应的、智能的行为和个体间的非线性作用机制提供了一个有力的工具。复杂性的思想与基于 Agent 的仿真技术的结合便产生了一个新的研究领域——基于 Agent 的经济仿真，也称为基于 Agent 的计算经济学 (agent-based computational economics, ACE) (Tesfatsion, 2002)。基于 Agent 的经济仿真主要用于研究宏观经济、金融市场、政治经济学、劳动力市场、电力市场、经济网络、技术转移与经济增长等问题。基于 Agent 的计算经济学各领域的主要研究内容和代表性的论文可参见美国爱荷华州立大学 Tesfatsion 的个人网站。由于金融系统的复杂性和重要性，金融市场成为基于 Agent 的仿真技术的一个非常重要的应用领域。

1.3 基于 Agent 的金融市场仿真

为了解释金融数据表现出来的格式化特征，早期的模拟金融市场运作的模型主要是物理学家将统计物理中研究微观粒子间相互作用的自旋玻璃模型 (ising spin model)、渗流模型 (percolation)、格子气自动机 (lattice gas automata)、元胞自动机 (cellular automata) 和随机图 (random graph) 等物理学中常用的模型和方法引入金融领域所建立的模型。这类模型的特点是个体的行为规则非常简单——几乎没有明确的目标和策略，更谈不上智能性和自适应性，仅仅是与临近的个体之间相互作用。然而这样简单的模型产生的价格序列却具有许多与实际数据相类似的格式化特征。这种简单行为规则的个体之间相互作用产生复杂宏观现象的仿真模型很好地体现了复杂科学中涌现 (emergence) 的思想。

进入 20 世纪 90 年代中后期，随着复杂科学的兴起和基于 Agent 的仿真技术的逐渐成熟，特别是在桑塔菲研究所的推动下，利用基于 Agent 的仿真技术，结合各种智能算法来处理交易者的智能的、自主的和自适应的行为，从而从交易者的行为的角度来解释各种标准金融理论难以解释的市场现象的研究层出不穷。今天当谈到基于 Agent 的金融市场仿真时，狭义上指的就是类似于桑塔菲人工金融市场的那种侧重于交易者的学习与进化等智能行为的模型。由于 Agent 技术可以很方便地表达个体的目标、策略(规则)等，这类模型可研究的问题不再局限于格式化特征的成因，还可以研究不同的交易策略、个体的学习与适应等行为因素对价格、交易量等市场的宏观属性的影响。

随着学科的发展，这两类模型之间也互相借鉴和融合，其界限也越来越模糊。

目前这种以计算机为工具通过模拟微观个体的行为来研究金融市场中的格式化特征及其他复杂市场动态的形成机理的研究在广义上统称为基于 Agent 的金融市场仿真或基于 Agent 的计算金融学(agent-based computational finance, ACF)。

基于 Agent 的金融市场仿真研究是一个经济学(金融学)、计算机科学(计算机仿真、人工智能)和物理学等多学科交叉的新兴领域。它是一种“自底向上”的研究方法——把金融系统作为一个复杂系统,通过在计算机上模拟系统参与的主体(交易者)的行为及其互动而得到系统的宏观特性,从而从微观个体行为的角度对系统宏观层面的市场复杂动态进行了诠释。复杂系统的思想与关注微观交易者的智能、自适应行为及其之间的非线性作用机制是其区别于传统研究方法的最主要的特征。解释实际交易数据中表现出来的格式化特征等复杂现象是其研究的目的和主要内容。

虽然基于 Agent 的金融市场仿真在 20 世纪 90 年代中后期才获得蓬勃发展,但是具有这种“从微观个体的行为到宏观市场现象”的思想的模型却可以追溯到更早的时期。

Stigler(1964)的研究可能是第一个具有基于 Agent 仿真思想的金融模型。在文章中,Stigler 对金融市场仿真的目的有如下论述:“模拟金融市场的目的,一方面是用最简洁的方式描述市场,另一方面是最忠实地再现(从实际市场中)观察到的某些市场特征。”

从严格意义上来说,这个模型没有对投资者及其交易策略作出详细描述,不能算一个完全的基于 Agent 的模型,但是 Stigler 的模型已经具备了基于 Agent 的金融市场的核心思想,因此他的工作可以视为迈向这种模型的第一步。其模型研究的问题是有效市场和有效交易机制的标准。模型运行结果是即使随机的交易指令是围绕均衡价格正态分布的,也会导致价格的波动和交易达成的时延。这说明了实现市场有效性和流动性的内在困难,特别是在缺乏套利行为、专家和投机者的情况下。Stigler 的论文开启了关于收益分布规律和市场动态的时间演化的研究的先河。

在华尔街 1987 年的股市崩溃之后,人们注意到应该从市场的内在本质角度对价格的变动加以解释,而非仅仅从外部寻求动因。Kim 和 Markowitz(1989)建立的为了解释股市崩溃原因的基于 Agent 的模型包括两类个体投资者,分别为持资产平衡者(rebalancers)和保值投资者(insurers),保值投资者也称为恒定比率投资组合保险策略(constant proportion portfolio insurance, CPPI)投资者。前者的投资策略是使现金和股票价值的比例保持不变,后者的投资策略是力图保证其损失控制在总投资的一定比例范围之内。Kim 和 Markowitz 认为金融市场的不稳定性可以视为投资者这样一种微观投资行为导致的宏观市场结果:股票价格一下跌,保值投资者便抛出股票以减少自己的损失,这便进一步加剧了下跌的速度,从而形

成一个正反馈循环。后来这个模型的各种版本又由 Egenter 等(1999)进行了进一步的研究。

20 世纪 90 年代中期以后,一方面,随着高频金融数据更加容易获得,许多学者特别是物理学家对实际交易数据的研究发现了诸多与标准金融理论正态假设和有效市场假说相抵触的现象,对这些现象的再现和解释引起了学界的浓厚兴趣。另一方面,随着计算机技术和 Agent 技术的发展,在计算机上模拟包含成千上万交易者的金融市场成为可能。因此,包括经济学家、计算机科学家、物理学家和心理学家在内的许多学科的学者投身于基于 Agent 金融市场研究,这一领域已成为当今最具代表性的多学科交叉的研究领域之一。(LeBaron, 2001, 2005)

目前,这一领域的研究仍处于探索阶段,还没有一个成熟的研究框架和研究体系。研究成果主要表现为不同背景的学者从自身感兴趣的问题出发所建立的一系列“散乱无章”的模型。但这些模型具有如下一些共同点:研究的对象都是单一的市场,其中又以股票市场为主;研究的问题主要是标准金融理论难以解释的金融市场中价格运动的格式化特征等复杂现象的形成机理;研究关注的主要是在信息不对称环境下 Agent 的自主学习、群体学习、交易策略的进化、Agent 相互之间的模仿行为等;相应地,其研究思路主要是,在这样的行为假定下如果能够再现具有格式化特征的价格动态,由于模型已经建立了 Agent 的行为和价格动态之间的关系,就从 Agent 的行为的角度解释了金融市场中诸多复杂现象的形成机理。

由于这是一个多学科交叉的研究领域,根据研究者的背景和模型中对 Agent 的行为的描述大致可以分为以下三类。

1.3.1 物理学模型

第一类是统计物理学家和理论物理学家构建的模型。物理学家习惯于从微观粒子相互作用的角度对物质的宏观特性进行研究,由于社会经济系统的宏观特性同样也源于微观的行为者间的相互作用,物理学家把物理学中已有的一些模型直接应用于金融问题或者借鉴物理学中某些建模思想、工具和方法来建立新的基于 Agent 的金融模型。

Cont 和 Bouchaud(2000)的模型可能是这类模型中最著名的一个,这一模型经常被称作 C-B 模型。借鉴物理学中的渗流模型,Cont 和 Bouchaud 用随机图来表示 Agent 之间的连接和互动关系,图中的每一个顶点代表一个 Agent,具有相同的观点的节点 (Agent) 就构成了一个群。他们的模型指出羊群行为是产生胖尾和股市泡沫的主要原因,并解释了羊群行为是如何通过微观层面上的 Agent 之间的局部互动而产生的,并给出了投资群体的规模的分布规律。由于这一模型的简洁性

和对问题的较强的解释力,这一模型引起了学界的浓厚兴趣,尚未正式发表就得到了大量的引用,对它进行扩展和进一步探讨的文献达数十篇之多,主要有 Zhang(1999),Stauffer 和 Sornette(1999),Stauffer 等(1999),Stauffer 和 Jan(2000),Sornette 等(2002),Castiglione 和 Stauffer(2001),Silva 和 Stauffer(2001),Makowiec 等(2004),以及被称为 E-Z 模型的 Eguiluz 和 Zimmermann(2000)等。

Dahmen 和 Sethna(1996)是一个物理学中的雪崩动力学的模型,Bouchaud 和 Potters(2000)[鲍查德和波特(2002)]将这一模型中的参数赋予一定的经济意义,来研究金融市场中的羊群行为。Sornette 的研究小组也在 Dahmen 和 Sethna(1996)的基础上,进一步发展深化用于研究市场崩溃(market crash)的形成机理(Sornette and Johansen, 1998; Sornette, 2003; Johansen et al., 2000)。Iori(1999, 2002)在 Bouchaud 和 Potters(2000)的基础上考虑了代表交易成本的摩擦,再现了收益的胖尾分布、交易量-波动性相关、波动聚集和长期记忆等现象,并对这些现象的成因作了进一步的探讨。

借鉴自旋玻璃模型,Sznajd(2002)将自旋方向比拟为金融市场中交易者对市场的看法和买卖行为,与多数模型采用的“周围的交易者的意见决定中央交易者的意见”意见传播方式不同,模型中交易者的意见是由中央扩散到四周的。Sznajd(2000, 2002)研究了金融市场中交易者对市场的看法的扩散对价格的形成和演化过程有何影响,并再现了收益的胖尾分布和波动聚集等现象。类似的模型还有 Kondor(2000)等。

这些都是将物理学模型通过简单类比的方式直接应用于金融研究的代表,在基于 Agent 的金融研究领域,这类模型的数量很多。这类模型的特点是 Agent 不具备自主的交易策略,Agent 的买卖行为主要取决于与其相邻的 Agent 的行动。

1.3.2 具有多类简单规则 Agent 的模型

第二类模型中一般包含两类或两类以上的 Agent,Agent 具有明确的交易策略且 Agent 的行为可以用简单的规则来描述,这类模型具有多 Agent 系统的特征,是真正意义上的基于 Agent 的金融市场仿真模型。

自 Frankel 和 Froot(1986)提出图表分析者-基本分析者(chartist-fundamentalist,图表分析者也称为技术交易者)的分析框架以来,在基于 Agent 的金融市场仿真研究中,将交易者分为基本分析者和技术交易者(即图表分析者)是一种普遍采用的研究模式。

Lux 和 Marchesi(1999)在 *Nature* 上发表的文章无疑是这类模型的代表之作。在 Lux(1997, 1998)、Lux 和 Marchesi(1999, 2000)的模型中,Agent 分为基本分析者和图表分析者两类,图表分析者又细分为乐观者和悲观者。在仿真过程中,

Agent 根据基本分析策略和图表分析策略的盈利能力在两种策略之间转换, 图表分析者根据“意见指数”在悲观者和乐观者之间转换。他的模型揭示了胖尾分布和波动聚集等现象的原因在于不同类型的投资者之间互相转换所引起的价格运动的正反馈循环。

自组织临界性(self-organized criticality)理论的提出者 Bak 等(1997)的群体模型是这类模型的另一个典型的例子。Bak 等(1997)的模型分别对仅存在基本分析者、独立的噪声交易者、具有模仿行为的噪声交易者和基本分析者与噪声交易者共存的情形进行了研究, 模型的主要结论是: 当模型中存在具有模仿行为的噪声交易者时, 行为相似的投资者群体就会突现, 与投资者相互独立的情形相比, 这种市场中的波动有显著的增大。因此, Bak 将价格巨幅波动的原因归结于投资者的羊群行为。

由于模型中存在多类 Agent, 除了探寻格式化特征等现象的形成机理之外, 还可以用来研究各种交易策略的有效性、各种类型的交易策略对市场的影响等问题。意大利 Genoa 大学的 Geona 人工金融市场研究团队的 Raberto 等(2001)、Raberto 和 Cincotti(2003)、Cincotti 等(2003)利用他们构建的系统研究了由采用随机策略、基本分析策略、趋势追踪策略、反转策略等策略的 Agent 组成的市场中, 各种类型的 Agent 的长期财富状况, 从而在一个动态的框架下考察了各种策略的相对有效性。Bernaschi 和 Castiglione (2000)研究了技术交易者对市场动态的影响, Alvarez-Ramirez 等(2002)研究了技术交易策略是如何导致长期记忆的, Schmidt(2002)则利用基于 Agent 的方法阐明了技术交易策略之所以成功的原因。

美国桑塔菲研究所的 Farmer 从 1994 年开始长达八年的时间里一直着力于一项名为“市场力, 生态学和进化论”的研究, 在 1994 年和 1997 年工作论文的基础上, 2002 年 Farmer 发表了这项研究的正式结果(Farmer, 2002; Farmer and Joshi, 2002), Farmer 的研究被认为是借鉴生物学中进化论的思想来研究金融市场动态的最重要的工作。文章中 Farmer 把金融市场中的交易策略(基本分析策略、技术交易策略等)比拟为生物学中的物种, 交易者比拟为独立的生物体; 这样 Farmer 就从经济进化和物种选择的视角解释了市场动态和流行的(赢利的)交易策略的演化。

此外, Kirman(1991)、Kirman 和 Teysiere(2001)的传染模型, Castiglione(2000)的聚集与扩散模型, Maslov(2000)、Chiarella 和 Iori(2002)、LiCalzi 和 Pellizzari(2003)的订单驱动市场模型, 以及 Brock 和 Hommes(1998), Westerho(2003), Matassini 和 Franci(2001), Franci 等(2001), Levy 等(1994)等都属于这种类型的模型。

1.3.3 Agent 具有学习与进化能力的模型

第三类模型关注的是 Agent 的学习和进化行为, 在这类模型中, Agent 具有