

# 智能体建模和资本市场复杂性

刘兴华<sup>1</sup>, 汤兵勇<sup>2</sup>

(1. 山东经济学院信息管理学院, 济南 250014;

2. 东华大学旭日工商管理学院, 上海 200051)

**摘要:** 以复杂适应系统的思想和智能体建模的方法研究资本市场复杂性是新兴的有价值的研究领域, 阐述了资本市场作为复杂适应系统的动力机制, 介绍了这一领域一个重要模型——少数派博弈 (minority game, MG) 模型. 仿真发现, 处于拥挤阶段的 MG 具有和实际市场相近的收益率分布. 进一步扩展标准 MG, 提出了快速适应的少数派博弈模型, 仿真结果显示, 新的模型有着和真实市场相同的特征: 收益率分布的尖峰和肥尾现象, 揭示了资本市场复杂性的内部动力学机理.

**关键词:** 少数派博弈; 复杂适应系统; 资本市场; 智能体建模

**中图分类号:** N941      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2005)04-0035-08

## 0 引言

复杂系统已成为前沿研究的焦点, 在 21 世纪的科学发展趋势中, 复杂系统的研究将占据重要的位置. 成思危<sup>[1]</sup>更是把复杂系统的研究列为未来十几年中国管理科学发展的重点之一.

复杂适应系统 (complex adaptive system, CAS) 是一类很具有代表性的复杂系统, 它的基本思想是: 系统的复杂性起源于个体的适应性, 系统中的个体在与环境和其它个体的交流中不断进行着演化学习, 并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式, 在整体上突现出新的结构、现象和更复杂的行为<sup>[2]</sup>.

经济和金融系统是典型的复杂适应系统. Arthur 在 *Science* 发表了一篇文章, 分析了经济的复杂适应性. 他指出, 在经过 200 年在均衡理论研究之后, 经济学家终于要研究经济中的结构决定的涌现和演化模式. 他认为, 复杂性描绘的经济不是一个确定性 (deterministic)、可预测性 (pre-

dictable) 和机械论 (mechanistic) 的, 而是一个过程依赖 (process dependent)、组织 (organic) 和一直进化 (evolving) 的<sup>[3]</sup>. Arthur 清晰阐述了经济, 特别是证券市场在不完全信息下的归纳推理逻辑. 在传统经济学中, 所有的预期和决策都是建立在演绎推理的基础上的, 由此产生了均衡等概念, 这在很大程度上并不符合实际, 以新的思想研究证券市场, 将带来许多新的启示, 对市场动力机制的理解将产生划时代的推进.

在这种思想下, 产生了基于智能体的计算经济学 (agent-based computational economics, ACE)<sup>[4]</sup>. ACE 目前已引起了广泛关注, 比较成功的例子便是著名的圣塔菲研究所 (Santa Fe Institute, SFI) 的人工市场模型<sup>[5]</sup>, 模型是基于智能体的, 以归纳逻辑决策的人工智能模型, 正是复杂适应系统的模型.

和圣塔菲研究所人工市场模型相对应的是少数派博弈模型. 少数派博弈模型在 1997 年由 Challet and Zhang<sup>[6]</sup>首次提出. 少数派博弈模型是多智能体的进化模型, 是研究资本市场复杂性的重要方法. 该模型的智能体有非常简单的定义, 但

大量的智能体之间相互作用却涌现出了复杂的外在特征,如智能体的合作性等。目前的研究主要集中在复杂性涌现及其解释,但是如何用少数派博弈模型解释现实市场出现的异常却没有引起足够的重视。本文希望分析并扩展标准的模型,使之更加方便有效地研究资本市场作为复杂适应系统的进化、适应及涌现特征等,探索资本市场复杂性产生的动力机制。

## 1 市场动力机制——多样性和归纳推理

近年来,国外金融学的文献大量地关注资本市场的各种异常(anomalies),如资产收益率过大的波动性(相对于基本面)、对消息或事件的反应过度(overreaction)和反应不足(underreaction),以及小市值公司效应,收益率分布的肥尾(fat tail)现象等<sup>[7,8]</sup>。这些在统计上具有显著性的异常现象无法用传统的金融学理论来解释。

传统金融学的动力机制简单描述为:建立在投资者同质(homogeneous)预期的理性预期均衡,其特点是:同质的投资者、演绎的逻辑、均衡的机制,并由理性套利保证了市场的持续有效;行为金融学并没有抛弃演绎逻辑的均衡机制,其动力机制的新特点是投资者的异质性(heterogeneous)和有限理性及效用函数的心理异化;在复杂适应系统的思想启发下,本文提出了新的动力学机制:多样化(diversified)的投资者以归纳逻辑决策形成的动态均衡系统,这里投资者不是同质也不是简单异质,而是多样化。非完美的信息让投资者不得不用归纳逻辑决策,但投资者是理性的,动态地进行学习和适应,市场成为一个动态进化的系统。本文认为这是一个更加接近实际的动力学机制。

在资本市场这个进化的系统中,投资者往往没有关于市场和其他投资者的完美信息,也没有足够的知识去分析市场,就象 Challet, Zhang<sup>[6]</sup>所说的那样:投资者既没有完美的前瞻(foresight)也没有完美的后瞻(hindsight),他们只能根据试凑的归纳思考(trial-and-error inductive thinking)而不是理性的演绎思考去决定行动。他可能有多种策略,来源于基本面分析、技术分析、打探内幕消息或跟

庄交易等等,他可能会根据最近的市场走势分析,以当前最有信心的策略决定行动,而这个策略正是来源于归纳而非演绎。

Arthur<sup>[3]</sup>为了研究经济思想,1994年介绍了他著名的 *El Farol* 酒吧问题,是对这一问题最直观的解释:圣塔菲研究所有一个叫 *El Farol* 的酒吧,每晚会有 100 人希望前去消费娱乐,但是如果顾客人数超过 60 就会很不舒适,这种情况下消费者宁愿留在家。所以每个人都需要事先判断今晚到酒吧的人数会不会超过 60,只有他认为不会超过 60 人时才会动身前去。这个问题有两个方面需要研究:一是每个人如何决策;二是每晚酒吧里的人数怎样。问题是每个人都不知道别人的决策,也不知道别人是否理性,他只知道以前自己的决策是否正确和每晚实际到的人数,有限的信息无法让他做出演绎的理性决策,也许只有用试凑的归纳策略决策。*El Farol* 酒吧问题引起了许多研究者的兴趣。

当试图解决这个小问题时,却发现遇到很大的困难,这里有两个比较有意思的内在的阻隔(frustration)问题:首先,不可能存在肯定正确的预测模型。如果有一个明显的模型可以去预测人数,理性的人都会采用这个模型,就会产生相同的决策,有些天所有的人都到酒吧,而另一些天没有人去,这显然不合理,该模型也不再是正确的。其次,没有理性的优化的演绎解。给定最近几天酒吧出现的实际人数,可能有许多的模型可以用来预测下一周的人数,每个人都不知道其他人的模型,那么,他就无法选择最好的模型,也就是说没有理性的演绎解。

在每个人眼里看来,这是个病态定义的问题,使他们被迫用归纳推理,系统逼迫所有人的预期必须是多样化的。Arthur 用一个小模型揭示了某些系统其结构决定的内在的阻隔,因此可以理解像证券市场这样的系统为什么会以归纳推理逻辑为特征,为什么投资者的预期必须是多样化的。

证券市场是一个典型的复杂适应系统,投资者的决策基于归纳的逻辑,以多样化为特征。投资者的行动聚合形成了市场本身,市场环境反过来又影响投资决策,形成反馈、自组织和进化性。而少数派博弈正是具有反映这种动力机制的潜质,可以用来分析金融研究发现的“异常”如:收

益率分布的肥尾现象、波动的簇聚性等现象。

## 2 标准少数派博弈模型

少数派博弈模型基于资本市场的研究背景，在 1997 年首次由 Challet 和 Y.-C. Zhang 提出。少数派博弈模型一经提出就引起重视，目前少数派博弈已经成为一种典型方法，成为研究的热点。

少数派博弈受 *El Farol* 酒吧问题的启发，思想是这样的：在市场中，有  $N$  个智能体（投资者），有的想买入某一只股票，有人想卖出，当想买入的数量小于想卖出的数量时，买入者必然获得一定价格上的优势，从而获益，也就是说少数派是获益的。因此每个智能体都要决定买还是卖，目的是想成为少数派的一员。

每个智能体只有两种信息：公共信息，即系统过去的全局信息，比如买和卖那一方获胜的信息及每一步中买和卖的数量；私人信息，智能体有自己以前表现情况的信息，可以根据以前的表现修正个人行为，以便做的更好。

每个智能体都要独自做出决定，只有所有人都选择完毕后，才能知道自己是否属于少数派，少数派的每一员都获得一个单位的收益，多数派的每一员都减去一个单位的收益。每一次博弈的结果成为历史数据（公共信息），以二进制位表示，1 表示行动“买”胜出，0 表示“买”未胜出。如“101”表示记忆长度  $M = 3$  时某时刻的历史数据。

智能体用策略把历史数据（公共信息）映射到行动，表 1 给出了一个用于预测的策略。

表 1 智能体的策略例子 ( $M = 2$ )

Table 1 A sample of agent's strategies ( $M = 2$ )

历史数据	预测
00	1
01	0
10	0
11	1

模型假设智能体的智能（记忆或分析公共信息的能力）是有限的，即智能体可用来预测的历史数据是有限的，比如  $M = 3$  时，策略集中全部策略的数量为  $2^{2^M} = 256$  个。每个智能体随机抽取  $S$  个策略作为自己的策略集，并记录每个策略的积分

（虚拟收益），智能体总是选择累积虚拟收益最高的策略用于实际决策。

少数派博弈是封闭的动态系统。假设有  $N$ （奇数）个智能体， $\mu(t)$  是时刻  $t$  时的公共信息， $P$  是可能的信息集（与记忆位数  $M$  有关）。为了从  $\mu(t)$  产生决策，每个智能体都有  $S$  个策略（行动准则）， $s_{i,s}$  ( $i = 1, \dots, N; s = 1, \dots, S$ )，这些行动准则是从信息集  $P$  到行动集的映射，而可能的行动只有 -1 和 1，也就是说  $a_{i,s}^\mu = -1$  或 1 分别代表卖和买。每个策略  $a_{i,s}$  有一个累积积分  $U_{i,s}(t)$ ，记录了这个策略的成功率（智能体的私人信息）。在时刻  $t$ ，每个智能体选择自己积分最多的策略  $s_i(t)$

$$s_i(t) = \arg \max_{s=1, \dots, S} U_{i,s}(t) \quad (1)$$

每个智能体的行动为

$$a_i(t) = a_{i,s_i(t)}^\mu \quad (2)$$

所有行动的聚合形成全局结果  $A(t)$ ，可以称之为“呈现” (attendance)

$$A(t) = \sum_i a_i(t) \quad (3)$$

每个智能体的积分更新为

$$U_{i,s}(t+1) = U_{i,s}(t) - a_{i,s}^\mu \text{sgn}[A(t)] \quad (4)$$

式 (1) ~ (4) 组成了完整的 MG 标准模型。

少数派博弈模型的定义是简单的，很容易进行系统仿真分析。

## 3 拥挤现象和市场波动

少数派博弈模型研究的一个重点是系统的效率，也就是  $A(t)$  的波动性，如果波动大，说明更多的智能体经常处在多数派中，系统损失了总的积分。 $A(t)$  的波动  $A^2$  为

$$A^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} A^2(t) dt \quad (5)$$

这里  $\cdot$  代表  $A^2$  在时间上的均值。

如果智能体随机选择行动的话，由于行动  $a_i \in \{-1, 1\}$ ，所以  $A^2 \sim N$ ，因而当  $A^2/N < 1$  时可以称智能体有合作 (cooperation) 现象。在模型中，每个智能体都没有其他智能体的信息，合作能力只能从全局信息中学习所得。

文献 [9 ~ 15] 对合作现象的研究表明，合作性

与  $= 2^M / N$  有关,如果  $M$  和  $S$  固定,根据 可以分成三个区域:

小 :智能体倾向于拥有相同的策略,形成拥挤现象,导致智能体容易做出相同的决策,  $A(t)$  波动增大,合作性下降;

中 : $2^M$  和  $N$  在数值上比较接近:智能体有最高的合作性.

大 :合作性逐渐降低,智能体接近随机决策.

除了合作性,少数派博弈模型还表现出其他一些重要特征,如可预测性、持续——反持续性、策略冻结等<sup>[9~15]</sup>.这充分显示了少数派博弈模型的复杂性涌现现象.由于少数派博弈有统计物理学背景,目前的文献主要研究模型产生复杂性涌现的机理,并没有着重用来解释金融学所发现的异常现象.而本文的目的正是为了分析异常现象,如收益率分布的尖峰和肥尾现象.

在小 阶段,智能体合作性最差,系统整体的效率最低,似乎没有价值,文献也没有分析三个阶段与现实市场异常之间的联系.

事实上,在合作性最优的阶段,要求  $2^M$  和  $N$  在一个数量级,这和真实市场相去甚远.实际的证券市场中投资者的数量巨大,要想产生合作,智能体必须有很长的记忆长度  $M$ ,也就是说智能体必须有足够的信息和处理信息的能力,而行为金融学和少数派博弈都明确提出投资者的有限理性和有限的信息,因此现实的市场运行范式可能更多地类似于小 阶段,虽然在这种状态下系统整体的效率不高.

为此,为了分析少数派博弈模型的价格行为,本文建立了一个简易的市场机制模型,定义价格  $P$  为

$$P(t+1) = P(t)e^{\frac{A(t)}{N}} \quad (6)$$

在这里,  $a_i = 1$  代表行动“买”,因而  $A(t)/N$  为收益率.根据前面介绍的标准少数派博弈模型进行系统仿真,分别得出拥挤状态(小 阶段)和合作状态(中 阶段)下收益率的分布如图1和图2,而真实市场收益率分布如图3.(其中横轴为收益率,纵轴为收益率分布)

收益率的簇聚性和肥尾现象是目前金融领域研究的热点,因为不符合有效市场假说,找出产生这种现象的市场内部机制当然是最重要的.本文的仿真显示,少数派博弈在合作性比较好的阶段

收益率接近正态分布,和真实市场并不相似;而在拥挤阶段产生的结果与现实市场有相似之处,但似乎尾部过于肥大,下面的部分本文将扩展标准模型进一步解决这个问题.

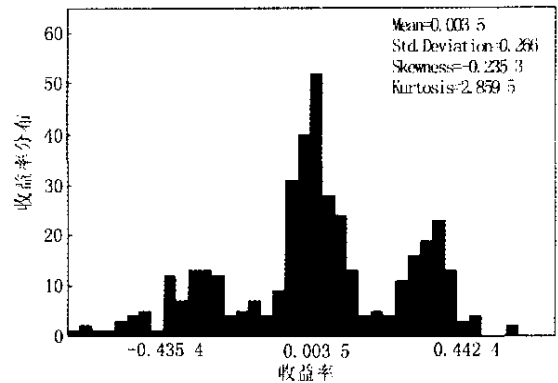


图1 拥挤阶段市场收益率分布

Fig.1 Distribution of market returns in crowd region  
( $N = 161, M = 4, S = 4, \text{times} = 400$ )

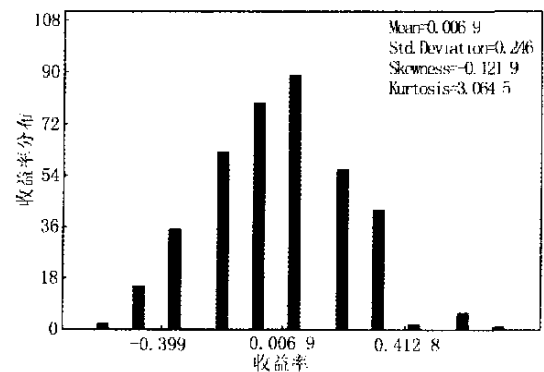


图2 合作阶段市场收益率分布

Fig.2 Distribution of market returns in cooperation region  
( $N = 15, M = 4, S = 4, \text{times} = 400$ )

## 4 快速适应的少数派博弈

文献中,标准的MG和以后扩展的模型都未涉及每个策略的积分  $U_{i,s}$ 记录的期限问题<sup>[9~15]</sup>.  $U_{i,s}$ 记录了智能体每个策略的虚拟积分,代表了每个策略在过去的时间内预测成功和失败的次数之差.在标准的MG中,智能体对公共信息的记忆力  $M$  是有限的,但私人信息  $U_{i,s}$ 却记录了从开始到结尾所有时期的积分.  $U_{i,s}$ 是智能体学习的依据,也是系统进化的根源,过长的积分期限,势必留下过多的信息沉积,造成智能体决策机制的进

化滞后于系统本身的进化,也许会降低智能体的决策能力,使智能体之间的合作性降低.

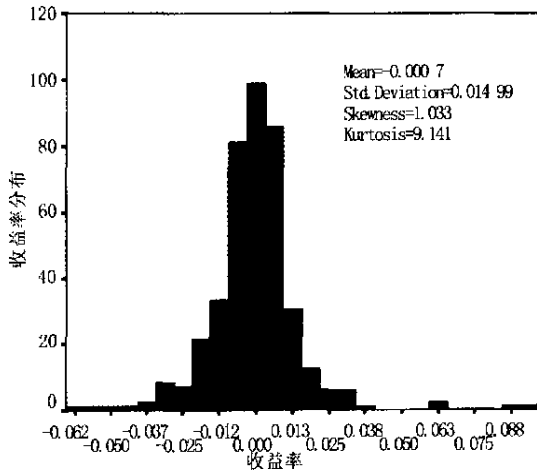


图 3 实际市场收益率分布  
(上证指数 2001. 2. 27—2002. 10. 25 共 400 个数据)  
Fig. 3 Distribution of real market returns  
(SSEC 2001. 2. 27—2002. 10. 25 total 400 data)

为了分析智能体的进化特征,本文扩展标准模型,增加一个参数,即积分  $U_{i,s}$  的记录期限 (horizon)  $H$ ,每个智能体的每个策略只能记录过去  $H$  步的积分情况.前文中的式(4)因此变为

$$U_{i,s}(t+1) = U_{i,s}(t) - a_{i,s}^{H(t)} \operatorname{sgn}[A(t)] - U_{i,s}(t-H) \quad (7)$$

记录期限  $H$  和记忆长度  $M$  并无关系.  $M$  是智能体用来分析决策的历史信息 (公共信息) 的长度,代表智能体“智能”的一个方面;  $H$  是关于每个策略过去成功或失败情况的记录 (私人信息) 的长度.  $H$  可以大于  $M$ ,也可以小于  $M$ . 对应于资本市场也有逻辑上的合理性,虽然智能体决策时只能记忆和分析  $M$  步历史信息,但它近期所得收益的记录时间  $H$  当然可以保存的期限长一些,一旦智能体更为“智能”时,它可以为了策略的进化,主动选择  $H$  的大小.不同  $H$  的情况下,智能体选择“买”的数量如图 4,5.

图 5 中,选择买入的人数的波动 (用  $^2/N$  表示) 比图 4 要小的多,也就是说在其他条件相同时,减小积分期限竟然加强了智能体的合作程度.信息量的减少反而产生更好的整体效果,可以解释为在进化的竞争系统中,智能体及时更新策略的有效性.

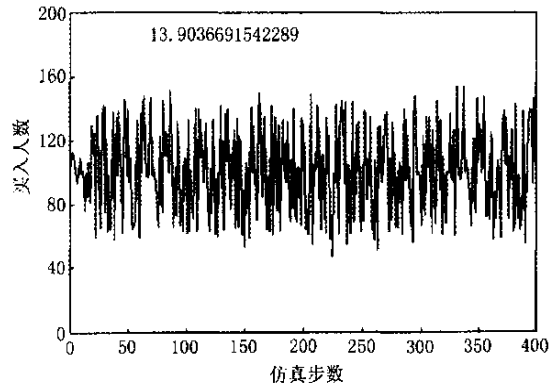


图 4  $H=18$  时买入人数  
(其中  $N=201, M=4, S=4$ , 横轴是仿真步数,纵轴是智能体选择买入的人数,  $^2/N=13.90$ .)  
Fig. 4 Number of attendance at buy side when  $H=18$

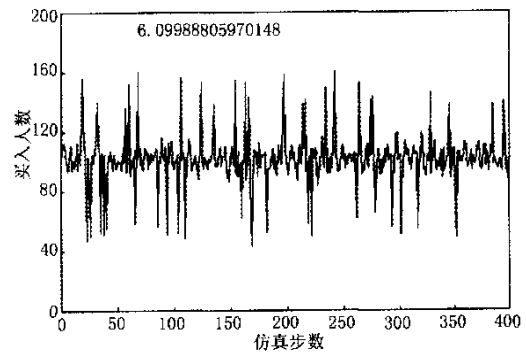


图 5  $H=6$  时买入人数  
(参数与图 4 相同,  $^2/N=6.10$ )  
Fig. 5 Number of attendance at buy side when  $H=6$

进一步仿真,让  $H$  从 20 减少到 1,看波动  $^2/N$  的变化趋势,如图 6:

从图 6 可以明显看出,随着  $H$  的减少,  $A(t)$  的波动整体上有减小的趋势,但当  $H$  太小时又有所增加,也就是说,  $H$  在一定的范围内效果比较好.

由此可见,在拥挤阶段减小积分期限可以使系统整体效率提高.事实上,在混合的系统中,当具有不同积分期限的智能体共同博弈时,智能体的收益率是有差别的.本文用决策的成功率作为智能体获利能力的度量,决策成功率的统计区间不限于  $H$  的范围内,将包括整个仿真期间,结果如图 7:

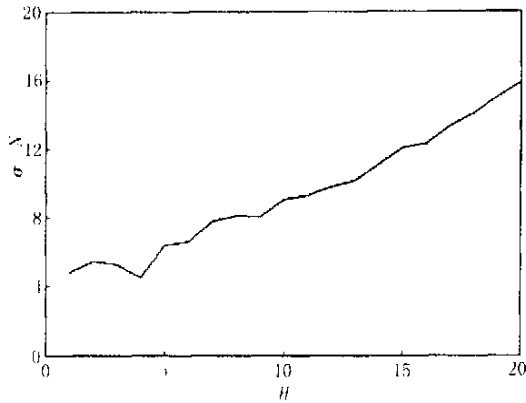


图6  $\sigma/N$  对应  $H$  曲线

Fig. 6  $\sigma/N$  vs.  $H$

( $N = 201, M = 4, S = 4, \text{times} = 400$ )

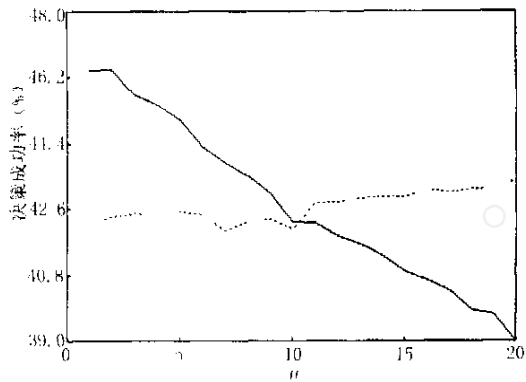


图7 具有不同积分期限的智能体共同博弈时成功率

Fig. 7 Success rates when agents with different horizons game together ( $N = 201, M = 4, S = 4, \text{times} = 400$ )

图7中横轴代表积分期限  $H$ , 纵轴代表同类智能体的平均决策成功率(%), 系统中有30%的智能体的积分期限可以改变, 图中用实线表示,  $H$  从1到20, 其余70%的智能体  $H$  固定为10, 图中用虚线表示。

图6和图7可以明显的表明, 智能体选择合适的积分期限可以同时提高智能体自身的收益及整体的效率, 具有不同积分期限的智能体共同博弈时, 拥有较优积分期限的智能体表现的更好。

所有智能体的决策最终产生了系统本身的复杂性, 而系统的复杂性又要求个体智能体策略的进化, 这种自组织的系统特性在资本市场分析中具有重要价值。股票价格决定于多维的因素, 但最终价格和交易量的实现来源于所有投资者的决策, 价格和交易量作为系统整体的涌现, 其相互作用的范式也是时变的, 投资者自然会尽量分析这

种时变性, 调整自己的投资策略, 策略的调整反过来再影响系统, 产生资本市场的复杂性。

既然智能体减小它的积分期限可以提高收益, 可以用这种扩展了的少数派博弈模型进一步仿真收益率的分布, 如图8(其中横轴为收益率, 纵轴为收益率分布频数):

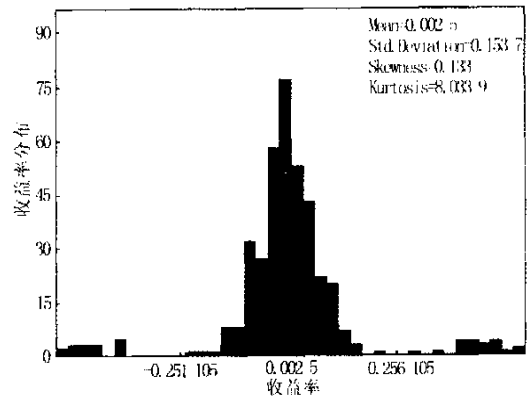


图8 积分期限有限的模型下的收益率分布

Fig. 8 Distribution of returns in modified MG with limited horizon

( $M = 4, N = 161, S = 4, \text{times} = 400, H = 5$ )

图8显示, 当智能体减小积分期限时, 整体的收益率分布更加符合实际的收益率分布。

由此可以得出这样的结论: 少数派博弈在拥挤阶段, 并且积分期限较小时可以更好的描述实际资本市场的“异常”, 即波动的簇聚性和收益率分布的肥尾性。

## 5 结 论

以复杂适应系统的思路和方法研究资本市场复杂性是很有前途的研究领域, 本文阐述了资本市场作为复杂适应系统的动力机制: 多样化的投资者以归纳逻辑决策形成的动态均衡系统。介绍了一种多智能体模型——少数派博弈模型, 该模型体现了系统和智能体本身的适应性和进化性, 而且能够反映资本市场归纳推理和多样性决策的动力机制。

目前少数派博弈研究的重点是智能体的合作特征, 由于在拥挤阶段合作性最差, 文献似乎忽略了其重要性。本文指出, 少数派博弈模型正是在拥挤阶段更接近真实的市场, 继而本文扩展了标准模型, 加入新参数——积分期限  $H$ , 提出快速适

应的少数派博弈模型. 发现在拥挤状态,  $H$  既影响系统的效率又影响智能体自身的收益, 智能体有兴趣减小  $H$  到合适的阶段, 以便增强学习能力, 增加收益. 当  $H$  在某个较小的值时, 本文仿真出了接近真实市场的现象: 波动的簇聚性和收益率分布的肥尾性. 这表明新的模型可以较好的模拟实际的资本市场收益率分布, 揭示了资本市场复杂性的动力学机理.

本文对标准少数派博弈模型的改进, 使模型

从整体涌现上显示了和真实市场相似的特征, 真正成为研究资本市场的工具. 下一步的研究包括几个方面: 1、进一步完善模型, 扩展智能体决策方式, 使其更接近真实市场, 比如让智能体具有价值交易模式和趋势交易模式等; 2、以扩展的少数派博弈模型研究市场问题, 如趋势交易者的形成和对价格波动的影响、制度变化的影响等; 3、结合实证分析, 研究少数派博弈模型对投资分析、风险管理等的价值.

## 参考文献:

- [1] 成思危. 中国管理科学的学科结构与发展重点选择[J]. 管理科学学报, 2000, 3(1): 1—6.  
Cheng Si-wei. Structure and focal points of management sciences in China[J]. Journal of Management Sciences in China, 2000, 3(1): 1—6. (in Chinese.)
- [2] 谭跃进, 邓宏钟. 复杂适应系统理论及其应用研究[J]. 系统工程, 2001, 19(5): 1—6.  
Tan Yue-jin, Deng Hong-zhong. The study of complex adaptive system theory and its application[J]. Systems Engineering, 2001, 19(5): 1—6. (in Chinese.)
- [3] Arthur W B. Complexity and the economy[J]. Science, 1999, (2): 107—109.
- [4] Tesfatsion Leigh. Agent-Based Computational Economics[R]. ISU Economics Working Paper, <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/>, 2003.
- [5] Blake LeBaron. Building the Santa Fe Artificial Stock Market[R]. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/>, 2002.
- [6] Challet D, Zhang Y C. Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game[J]. Physica A, 1997, 246: 407—418.
- [7] Barberis N, Shleifer A, Vishny R. A model of investor sentiment[J]. Journal of Financial Economics, 1998, 49: 307—343.
- [8] Daniel K. Investor psychology and security market under and overreactions[J]. Journal of Finance, 1998, 53: 1839—1885.
- [9] Challet D. Modeling Market Dynamics: Minority Game and Beyond[R]. Institut de Physique Théorique Université de Fribourg, <http://www.unifr.ch/econophysics/minority/>, 2000.
- [10] Damien Challet. Phase transition in a toy market[J]. International Journal of Theoretical And Applied Finance, 2000, 3(3): 451—454.
- [11] De Abreu F V, Almeida L M. Efficient-inefficient transitions in minority games[J]. International Journal of Theoretical And Applied Finance, 2000, 3(3): 465—466.
- [12] Hart M, Jefferies P, Hui P M, et al. Crowd-anticrowd theory Of multi-Agent game[J]. The European Physical Journal B, 2001, 20: 547—550.
- [13] Jefferies P, Hart M L, Hui P M, et al. From market games to real-world markets[J]. The European Physical Journal B, 2001, 20: 493—501.
- [14] Johnson N F. Trader dynamics in a model market[J]. The Thermal Minority Game, 2000, 3(3): 443—450.
- [15] Matteo Marsili. Market mechanism and expectations in minority and majority games[J]. Physica A, 2001, 299: 93—103.

## Agent-based modeling and complexity of capital market

LIU Xing-hua<sup>1</sup>, TANG Bing-yong<sup>2</sup>

1. Information Management College, Shandong Economic University, Ji'nan 250014, China;

2. Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai 200051, China

**Abstract:** Agent-based modeling which is a new approach to the research of the complexity in financial market is promising. Minority game (MG) that is an important agent-based model is introduced in this paper. The results of

our simulation show that the fluctuation features of MG that is in crowded region are more similar to real market than that in prefect cooperation region. So we extend the basic MG and present a high adaptable MG. The results of numerical simulation on the new model show that agents will be more intelligent, and the types of features of fluctuations are the same in real-world market. The new model reveals the intrinsic dynamic of complexity in financial market.

**Key words :** complex adaptive systems ; agent-based models ; financial market ; minority game

(上接第 34 页)

$$\ln(1 - e^s) = \ln b - l - \ln h(L) \tag{30}$$

对  $\ln h(L)$  线性化

$$\ln h(L) = \ln h(L^*) + \frac{h(L^*)}{h(L^*)} L^* (l - l^*) = \ln h(L^*) + \tilde{T} \tag{31}$$

所以联立式(27)、(30)、(31)有

$$\frac{a}{+ - a} \tilde{s} = (+ 1) \tilde{T}$$

即

$$l = \frac{1}{+ 1} \frac{a}{+ - a} s \tag{32}$$

把式(32)代入式(29)得到

$$\left[ \frac{a}{+ - a} - l - \frac{l - (1 - ) (b - )}{+ - a} \frac{a}{+ 1} \right] s = + [ l - (1 - ) a ] k \tag{33}$$

设  $\phi = \frac{a}{+ - a} - l - \frac{l - (1 - ) (b - )}{+ - a} \frac{a}{+ 1}, \phi_1 = \frac{1}{\phi},$

$$\phi_2 = \frac{l - (1 - ) a}{\phi}, \phi_3 = \frac{1}{+ 1} \frac{a}{+ - a} \phi_1, \phi_4 = \frac{1}{+ 1} \frac{a}{+ - a} \phi_2,$$

所以式(32)、(33)可记为以下简单形式

$$\tilde{s} = \phi_1 \tilde{+} + \phi_2 \tilde{k} \tag{34}$$

$$\tilde{T} = \phi_3 \tilde{+} + \phi_4 \tilde{k} \tag{35}$$

把式(34)、(35)代入式(14)、(15)得到

$$\dot{\tilde{+}} = + - a e^{l s^* + (l - 1) \tilde{+}} + l^* e^{k + (l - 1) \tilde{+}} \tilde{T} = (+ + ) [1 - e^{k + (l - 1) \tilde{k} + l \tilde{T}}] \tag{36}$$

$$\dot{\tilde{k}} = e^{(l + 1) s^* + (l - 1) \tilde{+}} l^* e^{(l + 1) \tilde{s} + (l - 1) \tilde{k} + l \tilde{T}} = [e^{(l + 1) \tilde{s} + (l - 1) \tilde{+}} \tilde{T} - 1] \tag{37}$$

上面两个式子的推导中,利用了式(23)、(24)。于是,可以把非线性动力系统式(14)、(15)在稳态领域内近似表示成线性系统(20)。

$$\begin{bmatrix} \dot{\tilde{+}} \\ \dot{\tilde{k}} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \tilde{+} \\ \tilde{k} \end{bmatrix}$$

其中  $J = \begin{bmatrix} - (+ + ) ( l \phi_1 + l \phi_3) & - (+ + ) ( l \phi_2 + l \phi_4 + l - 1) \\ [ ( l + 1) \phi_1 + l \phi_3 ] & [ ( l + 1) \phi_2 + l \phi_4 + l - 1 ] \end{bmatrix}$