

经纪人模仿在演化少数者博弈模型中引入的 自组织分离效应*

全宏俊¹⁾²⁾ 汪秉宏¹⁾ 杨伟松¹⁾ 王卫宁¹⁾ 罗晓曙¹⁾³⁾

¹⁾ 中国科学技术大学近代物理系及非线性科学中心, 合肥 230026)

²⁾ 华南理工大学应用物理系, 广州 510641)

³⁾ 广西师范大学物理与电子科学系, 桂林 541004)

(2002 年 3 月 17 日收到, 2002 年 4 月 27 日收到修改稿)

引入真实金融市场中普遍存在的模仿机理, 提出并研究了一种新的演化少数者博弈模型. 在该模型中, 所有的经纪人排列成满足一维周期性条件的链并有一个共同的策略. 每个经纪人有一个概率 p 值, 作决定时以概率 p 选择策略预测的取胜方, 以概率 $1-p$ 作出相反的决定. 同时经纪人可以模仿财富高于自己的最近邻居的 p 值. 数值模拟结果显示, 通过演化使得经纪人组成的系统自组织分离成由极端行为表征的相反人群. 模仿引起的演化可以明显提高系统的协作.

关键词: 科学与社会, 自组织系统

PACC: 0175, 0565

1. 引 言

近年来, 复杂适应系统(CAS)的基于经纪人的模型^[1]引起了人们的极大关注. 该模型中出现的重要的自组织现象给物理学家提供了一个极具挑战性的课题, 同时该模型在经济、生物和金融问题中具有潜在的应用^[2-4].

由 Challet 和张翼成^[5]提出的少数者博弈模型(MG)在建立复杂适应系统的基于经纪人的模型方面迈出了重要的一步. 这一模型简单, 抓住了类似金融市场中经纪人对有限资源进行竞争的系统的特征. 少数者博弈模型的构造如下: N (奇数)个经纪人, 每人记忆容量为 m , 有 s 个策略. 在每一时步每个经纪人依据过去记录的公共信息决定是去 A 方还是去 B 方(选择 0 或 1). 这些经纪人可以是每日从事交易的商人或交通高峰期的司机. 选择 0 方意味着选择卖掉一个特定的资产(如股票)或选择道路 B , 而选择 1 方意味着选择买进一个特定的资产或选择道路 A . 假定该记录仅包含 A 方或 B 方是否为获胜方, 而不告知实际的参与人数, 则系统的公共信

息(即取胜方的记录)可以用二进制序列表示, 当 A 方为获胜方时用 '1' 表示, 否则用 '0' 表示. 一个策略是在给定某种取胜方记录(m 比特历史)下对下一时步取胜方的预测. 对给定的 m , 取胜方记录有 2^m 种不同的组合, 即有 2^m 种不同的历史, 而对每个历史有两种不同的预测(0 或 1), 从而可以构造包含 2^{2^m} 个不同策略的策略库. 博弈开始时, 每人随机地从策略库中抽出 s 个策略($s > 1$). 当所有经纪人作出选择后, 处于少数方(即人数少的一方)的每一个经纪人为获胜者, 并加一分, 处于多数方的经纪人为失败者, 不加分; 同时分别给每人的 s 个策略打分(称为虚分), 若某个策略预测了正确的少数方(不管它是否被使用)则加一分; 反之不加分. 在 t 时步, 每个经纪人采用他的 s 个策略中累计虚分最高的策略(称之为最佳策略)决定是加入 A 方还是加入 B 方.

Savit 等^[6]的数值模拟结果显示, 由少数者博弈引起的扰动尺寸(即去某一指定方人数的标准偏差)在 m 改变时, 非单调变化, 从而提出“市场原则有效相”和“市场原则无效相”的概念. 在 m 较小时, 系统处于“市场有效相”, 标准偏差值大于所有经纪人随

* 国家重点基础研究发展规划项目“非线性科学中的前沿问题研究”、国家自然科学基金(批准号: 19974039, 19932020)、中国与加拿大大学与工业联合基金(CCUIPP-NSFC 70142005)和广西自然科学基金(批准号: 0135063)资助的课题.

机作出选择时的标准偏差值,在 m 较大时,系统处于“市场无效相”,标准偏差值接近所有经纪人随机作出选择时的标准偏差值.在 $2 \times 2^m (N \times s)^{-1} \approx 1$ 时,所有经纪人之间的协作性最佳,标准偏差小于随机作出选择时的标准偏差值. Challet 和 Marsili^[7]在少数者博弈模型与自旋玻璃系统之间建立了对应关系,得到许多深入了解 MG 动力学的有意义的知识.

由于少数者博弈模型中每个经纪人的策略在整个博弈期间保持不变,从而没有演化.然而,从新策略出现的广泛意义上,演化在复杂适应系统的动力学中是非常重要的.为此,Johnson 等^[8]提出了涉及演化人口的 MG 模型的一种变化形式.在这种称为演化少数者博弈(EMG)模型中,每个经纪人事先都知道最近出现的 2^m 种不同历史(每一历史的长度为 m 比特)下取胜方的记录.所有经纪人拥有一个相同的策略,在给定的历史下该策略预测下一时步的取胜方与过去最近相同 m 比特历史下的取胜方相同,因此该策略是不断变化的.同时每个经纪人拥有一个概率 $p(j)$:对给定的历史,每个经纪人或者以概率 $p(j)$ 选择去最近相同历史下的取胜方,或者以概率 $1 - p(j)$ 作出相反的决定($j = 1, \dots, N$).处于少数方的胜(处于多数方的失败)者的财富将加(减)一分.当经纪人的财富低于某个给定的值 d ($d < 0$)时,允许他在以 p_k 为中心、宽度为 R 的一个区间内重新按均匀分布随机挑选一个新的 p_k 值,并将他的得分重新置零.令人惊讶的是,采用极端行为的经纪人,即或者总是选择去最近相同历史下的取胜方($p_k \sim 1$)或者总是选择去与最近相同历史下的取胜方相反的一方($p_k \sim 0$)的人比犹豫不决的人($p_k \sim 1/2$)成功率高. D'huilst 和 Rodgers^[9]提出了修正的 EMG 模型,该模型将 EMG 的演化思想与 MG 中的初始随机策略分配相结合.博弈开始前每个经纪人从策略库中随机抽出一个策略,同时每个经纪人也拥有一个概率 $p(j)$.对给定的历史,每个经纪人或者以概率 $p(j)$ 选择策略预测的取胜方,或者以概率 $1 - p(j)$ 作出相反的决定.研究结果显示,当 m 较小时,经纪人将演化到这样一个状态:或者总是选择自己策略预测的取胜方($p \sim 1$),或者总是选择与自己策略预测的取胜方相反的一方($p \sim 0$),同时该状态也是取得最大成功率的状态.

为了模拟更真实的金融市场,目前已有许多文献研究了如何改进 MG 模型以降低“市场有效相”的标准偏差^[10-13],然而对如何改进 EMG 模型中经纪

人协作行为的研究还未见报道.

本文中,我们引入真实金融市场中广泛存在的经纪人之间的模仿(跟风)机理,提出 EMG 的一种推广模型.当经纪人周围邻居的财富高于自己的财富时,经纪人可以通过模仿更改自己的概率 p .我们给出了这一模型的数值模拟结果,并与 MG 模型、EMG 模型和修正的 EMG 模型进行了比较.

2. 模型描述

该模型由 N (奇数)个经纪人组成,在每时步每人必须在两方中作出选择.处于少数方的人为胜者,将加一分;处于多数方的人为失败者,不加分.每个经纪人有相同的记忆容量 m .博弈开始前,每人随机选择一个 p 值.对于给定的历史,每个经纪人或者以概率 p 选择去最近相同历史下的取胜方,或者以概率 $1 - p$ 作出相反的决定.

我们在经纪人之间引入模仿,设想所有经纪人围成一个圆圈,并使最相邻的邻居发生联系,假定信息流是对称的,即每个参与者可以知道他左右邻居的财富及概率 p 值.一个经纪人在 t 时步的最佳邻居是 $(t - 1)$ 时步他的两个邻居中财富最多的一个,如两个邻居的财富相同,则随机选择一个作为最佳邻居.在每一时步,每个经纪人都观察他的左右邻居,当最佳邻居的财富比自己的财富多时,该经纪人则用最佳邻居的概率替换自己的概率,通过模仿产生演化.这个模型可以描述现实生活中人们非独立地进行投资,他们听从一些专业公司的建议,或附和他们的消息灵通邻居倾向的现象.

我们分别用 $W_i(t), p_i(t), \chi_i(t), n(i)$ 表示在 t 时步第 i 个经纪人的财富、概率、作出的选择和他的最佳邻居, $\Omega(t)$ 为 t 时步的取胜方.则第 i 个经纪人在 t 时步的财富和概率 p 的更新规则可以表示为

$$W_i(t) = W_i(t - 1) + \alpha (\chi_i(t - 1) - \Omega(t - 1)), \tag{1}$$

$$p_i(t) = p_{\Omega(t)}(t - 1)L_i + p_i(t - 1)(1 - L_i), \tag{2}$$

式中

$$L_i = \Theta(W_{\Omega(t)}(t - 1) - W_i(t - 1)), \tag{3}$$

$$\Theta(x) = \begin{cases} 1 & \text{当 } x = 0; \\ 0 & \text{当 } x \neq 0, \end{cases}$$

$$\Theta(x) = \begin{cases} 1 & \text{当 } x > 0; \\ 0 & \text{当 } x \leq 0. \end{cases} \tag{4}$$

3. 结果与讨论

我们考虑由 $N = 101$ 个经纪人组成的系统. 图 1 给出了记忆容量分别为 $m = 3, 7$ 和 10 时, 经纪人之间的 p 值分布. 每个数据点取自 1000 次独立初始位形, 对每次初始位形运行 10^6 时步后, 再对 10^6 时步的结果作统计平均. 我们将 p 的取值区间 $[0, 1]$ 分成 100 个小区间 (每个小区间宽度为 0.01) 并将数据归一化使得 $\int P(p) dp = 1$. 经纪人的 p 值分布 $P(p)$ 的最终形状随 $t = 0$ 时步的初始概率分布不同而略有差异, 但对所有不同的初始概率分布, 经纪人的 p 值分布 $P(p)$ 的最终形状都是对称的, 在 $p = 0$ 和 $p = 1$ 处形成峰值, 对 $p \sim 0.5$ 的中间值 p , $P(p) = 0$, 这意味着系统通过自组织形成两种截然不同的经纪人种群 (分别称为“人群”和“反人群”), 各自采用极端的概率值: $p \approx 0$ 或 $p \approx 1$, 并导致他们的决定对标准偏差的影响有良好的抵消^[41], 该性质类似 EMG 中情况. 随着系统的演化, 犹豫不决的经纪人, 即采用 $p \sim 0.5$ 的经纪人消失, 值得指出的是, 在 EMG 中, 随着系统的演化, 犹豫不决的经纪人的数量虽然趋于减少, 但始终有犹豫不决的经纪人存在.

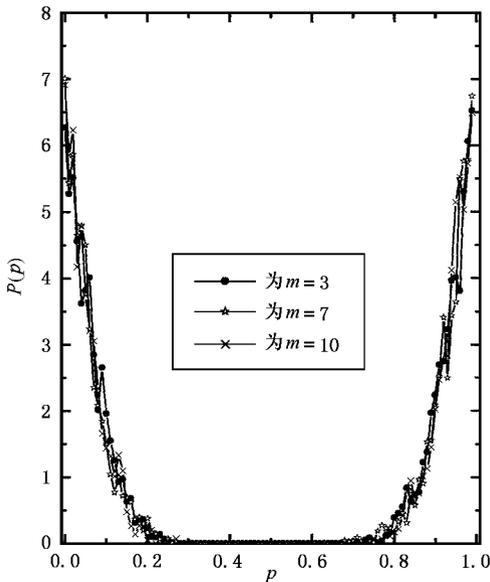


图 1 概率 p 的分布 $P(p)$ $P(p)$ 在 $t = 0$ 时刻的初始分布为水平的

图 2 给出了 $N = 101$ 时去某一指定方人数的标准偏差与 m 的函数关系. 每个数据点是对 1000 次初始位形平均的结果. EMG, 修正的 EMG 及策略数

$s = 2$ 时的 MG 的标准偏差也一起给出, 以便比较. 由图 2 可见, 在 EMG 中, 由于每个经纪人在任一给定步的策略相同, p 值的分布 $P(p)$ 导致与 m 无关的人群-反人群之间的有效抵消. 修正的 EMG 中, 经纪人也能够有效地形成相近尺寸大小的人群-反人群, 从而在 m 值的较大范围内, 标准偏差小于每人随机选择某一方时的标准偏差. 然而, 我们的模型在形成相近尺寸大小的人群-反人群方面比 EMG 和修正的 EMG 更为有效. 所计算的标准偏差在 MG ($s = 2$) 的标准偏差最小值左右, 说明经纪人之间的协作更好, 虽然整个社群获益的最优化并不是每个经纪人作决定时的目标, 但通过竞争和模仿达到了全社会获益的最优化. 由于每个经纪人的基本策略相同, p 值分布 $P(p)$ 仍然与 m 无关.

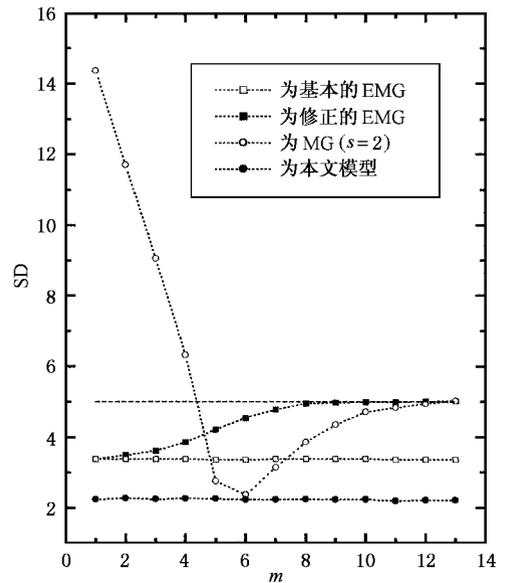


图 2 选择去某一指定方的人数的标准偏差 SD 与记忆容量 m 的关系 ($N = 101$) 对 EMG, 修正的 EMG, 分别取 $d = -4$ 及 $R = 0.2$; 水平虚线是经纪人随机选择去该方的标准偏差值

通过模仿改变概率使策略演化可以改进经纪人协作行为的原因如下: 不存在演化时, MG 中每个经纪人独立地做出自己的决定, 他们之间的协作仅仅通过策略的虚分体现. 当 m 较小时, 许多经纪人采用最佳策略, 极少经纪人采用最佳策略的反策略, 因此人群-反人群相抵消效应小, 造成大的标准偏差. 随着 m 增大, 人群与反人群开始有效地竞争. 当 m 很大时, 人群-反人群相抵消效应消失, 经纪人独立地作出决定, 使得标准偏差变得平坦. 对 EMG 和 MEMG, 这种问题可以得到缓和, 相近大小的人群-

反人群出现,但仍然有部分经纪人采用处于区间 $[0, 1]$ 中间值附近的 p 值,因此标准偏差都大于 $MG(s=2)$ 的最小标准偏差值.在我们的模型中,通过模仿,经纪人放弃了中间值的 p ,因此能更有效地形成相近大小的人群-反人群,提高每个经纪人的成功率.

我们研究了模仿对演化MG模型的影响.发现 p 值分布 $P(p)$ 与 m 无关, $P(p)$ 的最终形状因初始 p 值分布的不同而略有差异.数值模拟结果显示,引

入模仿可以增加系统的协作,对所有的 m 值,标准偏差可以降低到每个经纪人随机作出选择时的标准偏差以下,甚至可以低于 $s=2$ 时MG的最低标准偏差.这可以用人群-反人群理论定量解释^[4].我们的研究表明,在真实的金融市场中,局域的信息传输与经纪人之间的模仿,有可能抑制投机者的摇摆不定的趋势,从而提高社群整体的协作性,对于整个社会的获益优化是有利的.

- [1] Holland J H 1998 *Emergence : From Chaos to Order* (Reading , MA :Addison-Wesley)
- [2] Arthur W B 1994 *Am. Econ. Rev.* **84** 406
- [3] Stanley H E 1999 *Physica A* **269** 76
- [4] Johnson N F , Hart M and Hui P M 1999 *Physica A* **269** 1
- [5] Challet D and Zhang Y C 1997 *Physica A* **246** 407 ; 1997 *Physica A* **256** 514
- [6] Savit R , Manuca R and Riolo R 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 2203
- [7] Challet D and Marsili M 1999 *Phys. Rev. E* **60** R6271
- [8] Johnson N F , Hui P M , Jonson R and Lo T S 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 3360
- [9] D'huilst R and Rodgers G J 1999 *Physica A* **270** 514
- [10] Cavagna A , Garrahan J P , Giardinà I and Sherrington D 1999 *Phys. Rev. Lett.* **83** 4429
- [11] Hart M , Jefferies P , Johnson N F and Hui P M 2001 *Phys. Rev. E* **63** 017102
- [12] Slanina F 2000 *Physica A* **286** 367
Slanina F 2001 *Physica A* **299** 334
- [13] Quan H J , Wang B H , Hui P M and Luo X S 2001 *Chin. Phys. Lett.* **18** 1156

The self-organized segregation effect of evolutionary minority game with imitation^{*}

Quan Hong-Jun^{1,2)} Wang Bing-Hong¹⁾ Yang Wei-Song¹⁾ Wang Wei-Ning¹⁾ Luo Xiao-Shu^{1,3)}

¹⁾ Department of Modern Physics and Nonlinear Science Center, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

²⁾ Department of Applied Physics, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

³⁾ Department of Physics and Electronic Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

(Received 17 March 2002 ; revised manuscript received 27 April 2002)

Abstract

A variant of the evolutionary minority game is proposed. Agents' strategies given by probabilities p can be changed by imitation. Numerical results show that the agents evolve into a state in which they self-segregate into opposite groups characterized by extreme behaviours. The evolution by imitation can considerably enhance the system's coordination.

Keywords : science and society , self-organized system

PACC : 0175 , 0565

^{*} Project supported by the State Key Development Program of Basic Research for " the Frontier Problems of Nonlinear Science " of China , by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 19974039 and 19932020) , by the China-Canada University Industry Partnership Program (CCUIPP-NSFC No. 70142005) and by the Natural Science Foundation of Guangxi , China (Grant No. 0135063) .