

# 具有学习机制及情绪特征的连续进化博弈仿真

邵增珍<sup>1,2</sup> 王洪国<sup>1</sup> 刘弘<sup>1,2</sup> 成照乾<sup>1,2</sup> 尹会娟<sup>3</sup>

(山东师范大学信息科学与工程学院 济南 250014)<sup>1</sup>

(山东省分布式计算机软件新技术重点实验室 济南 250014)<sup>2</sup>

(山东师范大学管理与经济学院 济南 250014)<sup>3</sup>

**摘要** 当前博弈理论的研究主要集中在合作竞争及稳定性的分析上,有关心理因素对博弈过程的影响的研究尚不多见。将情绪特征引入连续进化博弈过程,可更为真实地仿真群体博弈过程。针对不同决策风格的个体,建立个体学习机制及根据情绪特征的策略变异机制。仿真结果表明,学习能力有助于个体之间的博弈平均合作率及群体收益总量的提高;情绪对个体收益产生一定的波动性影响,但对群体平均收益的波动性影响不大。

**关键词** 情绪,连续进化博弈,学习机制,仿真

**中图分类号** TP15 **文献标识码** A

## Sequential Evolutionary Game Simulation Characterized by Learning and Emotion

SHAO Zeng-zhen<sup>1,2</sup> WANG Hong-guo<sup>1</sup> LIU Hong<sup>1,2</sup> CHENG Zhao-qian<sup>1,2</sup> YIN Hui-juan<sup>3</sup>

(Institute of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)<sup>1</sup>

(Shandong Provincial Key Laboratory for Distributed Computer Software Novel Technology, Jinan 250014, China)<sup>2</sup>

(Institute of Management and Economics, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Currently the research of game theory focuses on cooperation, competition and stability analysis, the impact of psychological factors on game research is still rare. A novel model was proposed in this paper to simulate group game process more truly which introduces emotion character. According to different kind of agent, this model builds individual learning mechanism and strategy mutation mechanism based on emotion character. Simulations show that the ability of learning promotes individual's even cooperation rate of game and improves group total payoff. And, simulations also show that emotion factor would lead to fluctuation more dramatically whereas little influences to group even total payoff.

**Keywords** Emotion, Sequential evolutionary game, Learning mechanism, Simulation

## 1 引言

随着博弈理论不断发展,有关博弈理论的研究已成为目前经济界研究的热点。当前许多学者将进化算法同博弈联系起来<sup>[1]</sup>,试图利用进化算法探求个体博弈过程中的策略选择。目前大部分研究兴趣都集中在合作竞争博弈及其稳定性<sup>[2,3]</sup>的研究上,而有关心理因素的影响研究尚不多见。作为经济活动的主体,人类的心理活动势必会对博弈策略选择产生影响。麦勒斯<sup>[4]</sup>等人于 1999 年提出了主观预期愉悦理论(subjective expected pleasure theory)。美国著名决策专家 Hastie<sup>[5]</sup>指出,情绪问题<sup>[6]</sup>是决策领域未来需要解决的重要问题,也是目前日益受到重视的问题。

本文将情绪特征引入具有学习机制的进化博弈过程中,并对情绪因素下不同性格个体的博弈过程进行了研究。结果表明,学习机制和情绪特征对个体博弈过程的合作率及群体收益具有较大影响;从情绪影响上看,情绪对个体收益产生较

大的波动性影响,而对群体平均收益的影响不大。

## 2 决策风格与个体情绪

博弈环境可分为外部刺激和内部刺激。外部刺激是指经济个体生存的外部环境,如当前经济形势、行业发展趋势、政府政策等;内部刺激包括经济个体当前状态、个体性格及当前情绪等。称个体的当前状态及性格为个体的内隐状态。外部刺激和内部刺激的相互影响和融合,对个体博弈决策产生重要影响。考虑个体情绪因素的博弈决策过程如图 1 所示。

个体决策风格具有一定的稳定性,本文暂定其保持不变。个体情绪可看成是一种实时的同个体理性相对抗的力量。个体的内、外部刺激同时作用,可对个体动机(认知评估及行为选择)产生决定性影响,并产生博弈决策。作为具有智能性的个体,其博弈决策产生的结果将对个体内隐状态(主要是个体当前状态)产生重要影响,进而影响下一步决策时的情绪。对外部刺激(环境激励)来说,个体在很大程度上处于被动接受

到稿日期:2010-09-16 返修日期:2010-12-03 本文受国家自然科学基金(60970004),山东省科技攻关计划项目(2009GG10001008),济南市高校院所自主创新项目(200906001),山东省软科学研究计划项目(2009RKA285)资助。

邵增珍(1976—),男,博士生,副教授,CCF 会员,主要研究方向为计算智能、人工社会等,E-mail:Shaozengzhen@163.com;王洪国(1966—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电子政务、智能算法等;刘弘(1955—),女,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为人工智能、创新设计等;成照乾(1988—),男,硕士生;尹会娟(1985—),女,硕士生。

的地位。外部刺激将对个体情绪、个体动机产生影响。鉴于外部刺激的不可控性,本文研究将环境激励作为随机刺激处理。

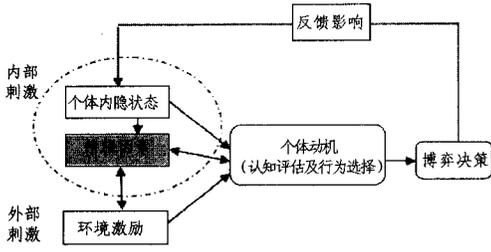


图1 情绪对行为决策的影响

### 2.1 决策风格

把个体的决策风格分为5种类型,分别为TFT型(针锋相对型)、Tol型(宽容型)、Pro型(易激怒型)、Evi型(邪恶型)和Ran型(随机型)。考虑个体连续博弈序列用二进制串表示,对以上5种决策风格形式化如下:

(1)TFT型:第一次对局采用合作的策略,以后每一次都跟随对手上一次的策略。假设对手的连续博弈序列为0100110110(0表示合作,1表示背叛),那么具有TFT性格的个体的连续博弈序列为0010011011。用数学表达式表示:设对手P的策略为 $L^P = l_1^P, l_2^P, \dots, l_N^P$ ,具有TFT性格的个体Q的连续博弈序列为 $L^Q = l_1^Q, l_2^Q, \dots, l_N^Q$ ,则有

$$l_i^Q = \begin{cases} 0, & i=0 \\ l_{i-1}^P, & i=1,2,3,\dots,N-1 \end{cases} \quad (1)$$

(2)Tol型:从不主动背叛对手,当对手连续背叛r次(称r为个体宽容指数)后才背叛,且只要对方改为合作,该个体立即改为合作。假设对手的连续博弈序列同上, $r=2$ ,则具有Tol性格的个体的连续博弈序列为0000001000,其数学表达式为

$$l_i^Q = \begin{cases} 0, & i=0,1 \\ 1, & \text{当 } l_{i-1}^P=1 \& l_{i-2}^P=1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

(3)Pro型:针对对方的背叛行为一定要报复,而且连续报复t次(称t为个体报复指数),然后查看对方上次策略。若对方上次合作,那么就开始合作,若对方连续博弈序列为同上, $t=3$ ,则具有Pro性格的连续博弈序列为0011111111。数学表达式为

$$l_i^Q = \begin{cases} 0, & i=0 \\ 1, & \text{当 } l_{i-1}^P=1, \text{ 则对于 } i \leq i+t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

(4)Evi型:首先合作,当发现对方合作,它就突然实施不合作策略。如果对方立刻实施报复,它就恢复合作。如果对方仍然合作,它就继续背叛。若对方连续博弈序列同上,该性格个体的连续博弈序列为0101100100。数学表达式为

$$l_i^Q = \begin{cases} 0, & i=0 \\ 1, & \text{当 } l_{i-1}^P=0 \\ 0, & \text{当 } l_{i-1}^P=1 \end{cases} \quad (4)$$

(5)Ran型:无论对手合作还是背叛,该个体每次的策略都是随机产生。数学表达式为

$$l_i^Q = \begin{cases} 0, & 0 < \text{random} < \sigma \\ 1, & \sigma \leq \text{random} < 1 \end{cases} \quad (5)$$

random为随机产生的(0,1)之间的随机数, $\sigma$ 称为随机指数。

### 2.2 个体情绪

简单起见,将个体情绪分为3类:积极主动型、平稳型和消极被动型。设个体 $e_i$ 的情绪特征量用 $y_i$ 表示,设定 $y_i \in (0, 1)$ 。当 $y_i \in (0, 0.5)$ 时,称 $e_i$ 当前具有负向情绪量,表示消极被动;当 $y_i \in (0.5, 1)$ 时,称 $e_i$ 当前处于正向情绪量,表示积极主动;当 $y_i = 0.5$ ,称 $e_i$ 处于平稳情绪量,表示求稳。设定最近两次个体收益之差为 $\Delta x_i = x_i(t) - x_i(t-1)$ ,情绪波动阈值为 $\xi > 0$ ,则该外界刺激情绪强度的关系可表示为<sup>[7]</sup>

$$y_i(t) = \begin{cases} y_i(t-1) + \text{rand}(-0.1, 0.1), & |\Delta x_i| < \xi \\ y_i(t-1) + 1/(\xi + \exp(\xi/\Delta x_i)), & \Delta x_i \geq \xi \\ y_i(t-1) - 1/(\xi + \exp(\Delta x_i/\xi)), & \Delta x_i \leq -\xi \end{cases} \quad (6)$$

当 $|\Delta x_i| < \xi$ 时,本次收益同上次收益之差未达到情绪波动阈值 $\xi$ ,则个体获得 $x_i(t)$ 收益后其情绪变化不大,本文用 $\text{rand}(-0.1, 0.1)$ 的随机值表示此波动。 $\Delta x_i \geq \xi$ 时,说明本次收益较高,且超过了情绪波动阈值,从追求利润的角度考虑,个体有向正向情绪发展的趋势。 $\Delta x_i$ 越大,个体情绪正向性越明显; $\Delta x_i \leq -\xi$ 时,说明本次收益较低,而且低的程度超过了情绪波动阈值,此时个体有向负向情绪发展的趋势,且 $\Delta x_i$ 越小,个体情绪负向性也越明显。情绪波动曲线如图2所示。图中,设置上次博弈收益为100单位,情绪特征量 $y(t-1) = 0.4$ ,情绪波动阈值 $\xi = 5$ 。需要说明,本文没有考虑个体情绪随时间衰减的情况。

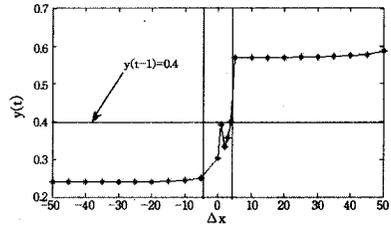


图2 情绪波动曲线

### 3 引入情绪特征的连续进化博弈

#### 3.1 连续进化博弈

基本囚徒困境博弈模型是基于表1所列的支付矩阵来计算收益的。表中T表示对方合作而自己背叛所获得的收益,R表示双方都合作时的收益,P表示双方都背叛时的收益,S表示对方背叛而自己合作时所获得的收益。其中,条件 $T > R > P > S$ 是必须的,对重复囚徒困境博弈模型来说,还需要保证 $2R > T + S$ 。显然,对一次博弈来说,“背叛”是最合适的策略。但从表中可看出,双方都选择背叛的收益比双方都选择合作的收益明显偏少。个体的最优决策往往同整体的最优决策有较大差异,这就是囚徒困境博弈所体现的问题所在。近来关于大脑科学的研究表明,人类是自然温和的利他主义者<sup>[8]</sup>,对次数未知的重复博弈来说,背叛并不总是最好的选择。在连续囚徒困境博弈(sequential prison's dilemma game)研究中,学者Tetsushi Ohdaira引入进化机制及次优策略<sup>[9]</sup>,得出次优策略可大大提高对局者之间的合作水平。

表1 囚徒困境博弈的支付矩阵

		个体1	
		背叛(D)	合作(C)
个体2	背叛(D)	(P: 1, P: 1)	(T: 5, S: 0)
	合作(C)	(S: 0, T: 5)	(R: 3, R: 3)

设定个体  $e_1, e_2$ , 连续博弈长度为  $L_s$ 。如图 3 所示, 两个个体的收益均是 23。

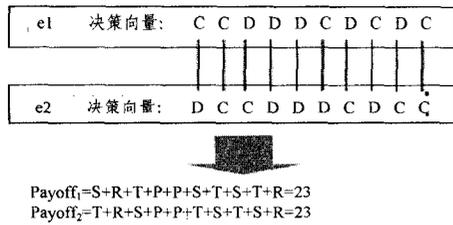


图 3 连续囚徒困境博弈收益示例

博弈策略对个体发展影响很大。如果策略固定, 说明个体墨守成规; 如果个体具有学习特点, 则其所采用的策略会根据某种规律变化。考虑到个体情绪, 个体内隐状态及外部环境刺激将会改变其实时情绪。而情绪的变化作为行为决策输入变量, 将会在某种程度上改变已有的策略。因此, 本文研究个体博弈策略进化时考虑两方面: 一是个体的学习进化策略, 二是情绪特征引起的个体策略的变异。

### 3.2 博弈学习进化策略

个体是否有学习的动机, 至少由以下几个因素决定: 前一段时期的平均收益波动  $\Delta\tilde{p}_i$ 、个体的社会声誉度  $rep_i$  和个体的历史合作率  $Cr_i$ 。具体为: 1) 平均收益水平波动  $\Delta\tilde{p}_i < 0$  时, 需要向其他个体学习, 而且该值越小, 学习动力越强; 2) 社会声誉度  $rep_i$  越小, 越需要向其他个体学习; 3) 个体历史合作率  $Cr_i$  越小, 越需要向其他个体学习。

定义  $PL_i$  为个体运行一段时期后向其他个体学习的概率, 有

$$PL_i = \begin{cases} \alpha_1 \cdot \arctan((\zeta_i - \Delta\tilde{p}_i)) + \alpha_2(1 - rep_i) + \alpha_3(1 - Cr_i), & \Delta\tilde{p}_i < \zeta_i \\ \alpha_2(1 - rep_i) + \alpha_3(1 - Cr_i), & \zeta_i \leq \Delta\tilde{p}_i < \phi_i \\ \text{rand}(0, 0.5), & \Delta\tilde{p}_i \geq \phi_i \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  为调节参数, 表示个体对各因素的重视程度,  $0 \leq rep_i, Cr_i \leq 1$ 。简单起见, 可设  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$ , 表示个体对以上 3 个指标同样对待。定义个体实施若干次连续博弈的动作为一个博弈区间, 本博弈区间的平均收益同上一博弈区间的平均收益之差用  $\Delta\tilde{p}_i$  表示。定义  $\zeta_i < 0$  为个体收益下滑阈值。  $\phi_i > 0$  为个体收益稳定阈值, 当  $\Delta\tilde{p}_i < \zeta_i$  时, 说明个体收益出现较大下滑, 则有向其他个体学习的动力; 当  $\zeta_i \leq \Delta\tilde{p}_i < \phi_i$  时, 说明个体的收益较稳定, 学习动力主要来自个体对社会声誉和合作率的考虑; 当  $\Delta\tilde{p}_i \geq \phi_i$  时, 个体收益呈现较快增长的趋势, 说明本身策略得当, 学习动力较小, 只需总结自身历史经验即可。

基于以上分析, 将个体学习分为两类: 自我学习 (L2S) 和向邻居学习 (L2N)。自我学习是智能个体的常态学习, 可认为是总结历史经验教训的学习方式。向邻居学习时, 本文采取以下学习策略进行仿真: 记录近期一段时间内同自身有合作的邻居中的优秀博弈策略, 并进行总结, 确定学习目标及学习方案。收益较差的个体需改善自身决策风格, 例如增加同其它个体的合作博弈几率等。

定义  $N_i^+ = \{n_j \mid \|n_j - e_i\| \leq \delta_i, j = 1, 2, \dots, n\}$  为  $e_i$  的近邻域集合, 其中  $\delta_i$  为个体  $e_i$  的近邻域半径,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。考虑到经济网络的小世界特性<sup>[10]</sup>, 计算个体邻域集合时, 对于市场能力较强的个体, 再随机增加较远的个体作为邻居。是

否增加及增加多少由个体的市场能力参数  $n_i$  确定, 设定  $n_i \in [0, .5]$ 。当  $n_i \geq 3$  时, 个体  $e_i$  具有较大的概率拥有多个远邻, 本文暂定义个体的远邻个数不超过  $0.05 * n$  个。设定  $N_{n_i}$  为个体  $e_i$  由其市场能力参数  $n_i$  确定的远邻集合, 则个体  $e_i$  的邻域为  $N_i = N_i^+ \cup N_{n_i}, i = 1, 2, \dots, n$ 。

个体  $e_i$  选择其邻域中的某个体并进行博弈。选择博弈对象时, 我们引入历史社会声誉评价及合作效果评价机制。如果某个体的社会声誉较差, 同时在同其它个体博弈过程中, 没有给对手留有合适的收益, 则其被选择的概率将降低, 甚至有可能长期无法达成交易。博弈过程中, 个体可记忆对方的博弈策略, 以为后期学习做好准备。为实现该要求, 我们为个体  $e_i$  设置一个记忆体  $M$ , 用于记忆自身历史博弈策略及邻居博弈策略。为降低空间复杂度, 记忆策略是有选择性的, 个体  $e_i$  仅记忆自身和邻居的较好的策略和较差的策略, 其中较差的策略主要起警戒作用。

### 3.3 博弈变异机制

个体面对的环境的变化将引起个体情绪的变化, 而情绪在博弈策略选择过程中代表着“非理性”。仿真过程中, 采用策略“变异”的方式来模拟个体情绪对博弈策略的影响。当个体确定本轮博弈时采取的博弈策略列表后, 会随机更改某个博弈策略, 这也可理解为是个体“次优博弈”的表现。个体情绪特征量对变异幅度具有较大影响, 该影响通过变异概率  $MP_i$  来调节。已有文献表明, 当变异概率较大时, 相互合作的概率降低。而个体的当前情绪特征量同个体博弈策略的变异概率呈某种负相关性, 当情绪较为低落时, 变异概率较大, 反之则较小。可用如下公式表示两者之间的关系

$$MP_i = \gamma \cdot \exp(-ky_i + \eta) \quad (8)$$

式中,  $\gamma, k, \eta$  均为大于 0 的调节参数, 本文取  $r = 0.33, k = 2, \eta = 0.1$ , 如图 4 所示。实际使用时, 参数可根据不同个体的决策风格进行调节。

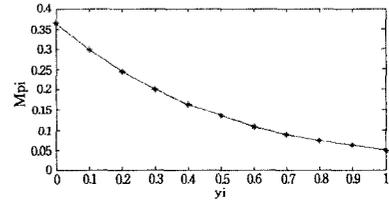


图 4 情绪同变异概率的关系

### 3.4 仿真流程

个体初始按照其决策风格确定博弈策略序列。考虑博弈的实际过程, 个体往往在运行一个博弈区间后才考虑其博弈策略的有效性, 本文实验定义  $g = 20$  为一个博弈区间。一个博弈区间完成后, 个体根据收益情况确定下一个博弈区间所采取的措施, 具体运行过程为: 1) 个体在初始博弈区间内, 按照本身决策风格产生博弈序列同对手博弈, 个体的理性受收益变化的影响; 2) 博弈区间结束时, 个体判断自身平均收益情况、社会声誉及合作率, 确定是否需要向邻域学习, 如果需要向邻域学习, 则根据学习规则更新博弈策略, 否则进行自我学习。

假定某二维平面区域内有一个博弈群体, 个体数目为  $n$ , 个体之间采用连续博弈策略, 博弈策略长度设定为  $L_s$ 。个体的地理位置以均匀分布方式在平面上随机生成。定义 IMAX 为最大博弈次数, 则仿真步骤如下:

Step1 在二维平面区域中初始化博弈群  $\{e_i\}$ , 包括初始

化  $e_i$  的位置、近邻域半径  $\delta_i$ 、市场能力参数  $\eta_i$ 、决策风格  $p_i$ 、当前情绪  $y_i$ 、社会声誉  $rep_i$  等;  $INUM=0$ ;

Step2 根据个体的市场能力参数  $\eta_i$  及近邻域半径  $\delta_i$ , 生成个体邻域  $N_i, i=1, 2, \dots, n$ ;

Step3 While  $INUM < IMAX$  do

For each  $e_i$  do

$j=0$ ;

从  $N_i$  中根据选择策略选择一个邻居, 按照个体博弈策略计算本轮收益, 保存本轮收益及对局双方博弈策略;  $j=j+1$ ;

根据式(6), 计算  $e_i$  的当前情绪  $y_i$ ;

If  $j=g$

{ 根据式(7) 确定下一博弈区间向外界学习的概率, 并以轮盘赌算法确定学习策略  
 $j=0$ ;

Else

根据式(8), 对个体下轮采用的博弈策略执行变异操作;

End for

$INUM=INUM+1$ ;

End While

## 4 仿真与结果

设定个体数目  $n=100$ ,  $IMAX=100$ 。个体种群在  $800 \times 800$  的二维平面上均匀分布。系统连续运行 2000 次, 实验结论如下。

仿真实验一 不同决策风格的个体收益排序

对 5 种决策风格的个体收益情况进行排序, 得到表 2。

表 2 无学习机制/带学习机制时个体收益排序

	第一名	第二名	第三名	第四名	第五名
TFT	826	880	232	55	7
	704	538	414	272	72
Tol	1064	720	153	57	6
	497	490	447	383	183
Pro	0	15	71	307	1607
	30	59	161	345	1405
Evi	54	189	803	776	178
	386	442	501	505	166
Ran	56	196	741	805	178
	383	471	477	495	174

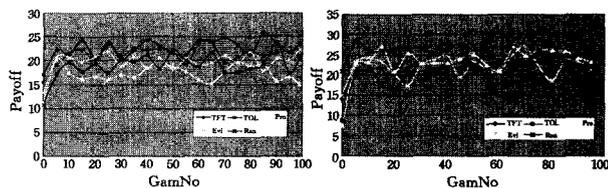
表 2 中某一行的上部数据表示无学习能力时该类型个体在 2000 次实验中平均总收益的排序情况, 下部数据是有学习能力时的平均总收益的排序情况。分析发现, 无学习能力时, TFT 类型和 Tol 类型占绝对优势, 在 2000 次实验中, 平均收益排名在 1、2 位时占 94.5%、80% 的比例, 而 Pro, Evi 和 Ran 类型的企业排名分别为 5.5%、20%。当引入学习机制后, 决策风格较差的个体将会根据博弈对象的优点改善自己的决策方式, 在 2000 次实验中, 平均收益排名在 1、2 位时占 60%、51.4% 的比例, 而 Pro, Evi 和 Ran 类型的个体排名分别为 40%、48.6%。显然, 经过较长时间的学习过程后, 个体之间的差距逐渐缩小。

仿真实验二 学习机制对平均收益的影响

下面从平均收益方面进行分析。

图 5 是无学习机制及带学习机制时的收益情况。从图 5(a) 中可以看出, 当经济个体完全按照自己的决策风格运行时, TFT 和 Tol 类型具有良好的收益水平, 而 Pro 类型的个体收益较差。图 5(b) 是经济个体每博弈 20 次就以一定的学

习概率学习某次实验(第 1700 次实验)的情况, 可以发现, TFT 和 Tol 类型的优势已经不明显, 各种类型的个体收益情况大致稳定在一定范围内, 且呈一定程度的上升趋势。



(a) 无学习机制

(b) 带学习机制

图 5 个体平均收益情况

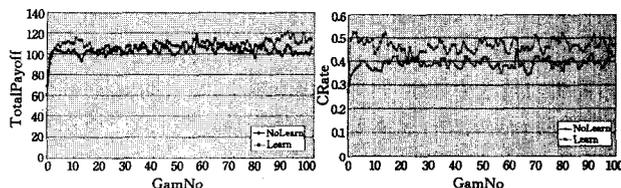
仿真实验三 学习机制对收益总量及平均合作率的影响

下面再从收益总量及平均合作率上进行分析。先给出几个定义:

定义 1(收益总量) 按照个体决策风格计算本轮某类型个体的收益平均值, 然后将所有类型的收益平均值求和。

定义 2(平均合作率) 计算所有个体在每一轮博弈序列中同对方合作的比率, 然后求所有比率的平均值。

仿真结果如图 6 所示。



(a) 收益总量比较

(b) 平均合作率比较

图 6 学习机制对收益总量及平均合作率的影响

增加学习机制后, 收益总量和平均合作率均有所提高。从图 6(a) 中可以看出, 在第 40 轮之前, 无学习机制的平均收益总量同有学习机制的平均收益总量相差不大。但第 40 轮之后, 学习的作用愈加明显, 有学习机制的平均收益总量全面占优。图 6(b) 中也表现了类似结论。从个体本身来看, “背叛”是其最优选择。但增加了学习机制后, 从总体上看, “合作”将会给个体及群体带来更多利益。

仿真实验四 个体情绪对具有学习机制的个体收益的影响

下面将个体情绪引入具有学习机制的博弈过程。以具有学习机制的 TFT 类型个体的平均收益为例, 引入情绪机制和未考虑情绪机制的对比图, 如图 7 所示。

引入情绪影响后, 博弈过程中个体的收益波动增大, 这同个体决策过程的“不理性”密切相关。但从博弈多轮的平均收益来看, 未引入情绪影响时平均收益为 22.57, 引入情绪影响时平均收益为 21.94, 可以发现情绪对个体的收益具有一定的负面影响。但由于个体具有学习机制, 其影响程度并不大。我们还将个体情绪引入不具有学习机制的博弈过程, 从博弈多轮的平均收益来看, 未引入情绪影响时平均收益为 20.18, 引入情绪影响时平均收益为 18.43, 情绪对个体的收益带来的负面影响较大。

仿真实验五 个体情绪对具有学习机制的群体平均收益的影响

情绪对具有学习机制的群体平均收益影响结果如图 8 所示。

方法。

### 参考文献

[1] 李豫颖,史开泉.半P-集合( $X^F, X$ )与信息的内-真度环特征[J]. 计算机科学,2011,38(4):239-248

[2] Shi Kai-quan. P-sets and its applications[J]. An International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2009, 9(2):209-219

[3] 史开泉. P-集合[J]. 山东大学学报:理学版,2008,43(11):77-84

[4] 史开泉. P-集合与它的应用特征[J]. 计算机科学,2010,37(8):1-8

[5] Shi Kai-quan, Li Xiu-hong. Camouflaged information identification and its applications[J]. International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2010, 10(2):157-167

[6] 史开泉,张丽. P-集合与数据外-恢复[J]. 山东大学学报:理学版,2009,44(4):8-14

[7] 李豫颖,谢维奇,史开泉.  $\bar{F}$ -残缺数据的辨识与恢复[J]. 山东大学学报:理学版,2010,45(9):57-64

[8] 李豫颖.  $F$ -畸变数据的生成与修复[J]. 吉首大学学报:自然科学版,2010,31(3):59-72

[9] 于秀清.  $P_{(p,s)}$ -集合与它的随机特性[J]. 计算机科学,2010,37(9):218-221

[10] 张丽,崔玉泉,史开泉. 外P-集合与数据内-恢复[J]. 系统工程与电子技术,2010,32(6):1919-1924

[11] Li Yu-ying, Zhang Li, Shi Kai-quan. Generation and recovery of compressed data and redundant data[J]. Quantitative Logic and

Soft Computing, 2010, 2(1):661-671

[12] Zhang Ling, Ren Xue-fang. P-sets and its  $(f, \bar{f})$ -heredity[J]. Quantitative Logic and Soft Computing, 2010, 2(1):735-742

[13] Qiu Yu-feng, Chen Bao-hui.  $f$ -Model generated by P-sets[J]. Quantitative Logic and Soft Computing, 2010, 2(1):613-620

[14] Xiu Ming, Shi Kai-quan, Zhang Li. P-sets and  $\bar{F}$ -data selection-discovery[J]. Quantitative Logic and Soft Computing, 2010, 2(1):791-799

[15] Zhang Li, Xiu Ming, Shi Kai-quan. P-sets and applications of power circle[J]. Quantitative Logic and Soft Computing, 2010, 2(1):581-591

[16] Lin Hong-kang, Li Yu-ying. P-sets and its P-separation theorems[J]. An International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2010, 10(2):209-215

[17] Huang Shun-liang, Wang Wei, Geng Dian-you. P-sets and its internal P-memory characteristics[J]. International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2010, 10(2):216-222

[18] Wang Yang, Geng Hong-qin, Shi Kai-quan. The mining of dynamic information based on P-sets and its applications[J]. International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2010, 10(2):234-240

[19] Zhang Guan-yu, Li En-zhong. Information gene and identification of its information Knock-out/Knock-in[J]. International Journal Advances in Systems Science and Applications, 2010, 10(2):308-315

(上接第200页)

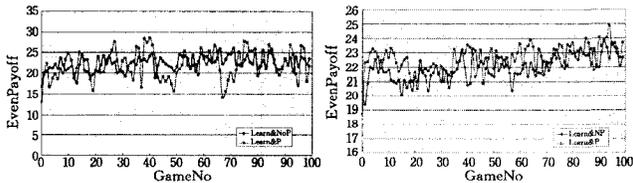


图7 情绪对个体收益的影响 图8 情绪对群体平均收益的影响

图8中表现的是情绪对所有个体的平均收益(群体平均收益)的影响。我们发现,从总体上看,情绪对群体平均收益的影响不大。群体平均收益波动略微增大,且在博弈后期总体呈上升趋势。从博弈多轮的平均收益来看,未引入情绪影响时群体平均收益为22.03,引入情绪影响时平均收益为22.24,相差较少。另外,从第70轮博弈开始,不论是引入情绪机制还是未引入情绪机制,群体的平均收益呈上升趋势,这说明个体学习机制开始发挥效用。

**结束语** 本文就情绪对具有学习特征的个体连续博弈过程进行了研究,得出情绪对个体博弈过程影响较大,而对群体博弈过程影响较小的结论。同时,引入学习特征的个体经过学习后,其收益情况也发生了较大变化,TFT类型和Tol类型不再具有绝对优势,其它类型的个体收益也会逐渐提高,最终实现了群体收益的增长。但本文对情绪的分类较为简单,没有考虑不同情绪对个体的影响效果。另外,个体学习机制采取了较为单一的邻域学习,没有考虑个体之间的亲密度及合作的成功率。由于情绪和学习机制对个体博弈的影响研究是一个较新的研究领域<sup>[11,12]</sup>,我们将在后期进一步展开研究。

### 参考文献

[1] Bernoulli D. Specimen Theoriae Novae de Mesura Sortis(Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk)[J]. Econometrica, 1954, 22(1):23-26

[2] 吴昊,杨梅英,陈良猷. 合作竞争博弈中的复杂性演化均衡的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践,2004(2):90-94

[3] 傅玉颖,潘晓弘,王正肖. 模糊合作博弈下的供应链多目标优化[J]. 浙江大学学报:工学版,2009(9):1644-1648

[4] Mellers B A, Schwartz A, Ritov I. Emotion-based Choice [J]. Journal of Experimental Psychology:General, 1999, 128:332-345

[5] Hastie R. Problems for Judgement and Decision Making [J]. Annual Review of Psychology, 2001, 52:653-683

[6] Cao Wen-ming, He Tian-cheng. The Multi-weight Neuron with Geometry Algorithm and Its Application[J]. Chinese of Journal Electronics, 2008, 17(2):261-264

[7] 周昌乐. 心脑计算举要[M]. 北京:清华大学出版社,2003

[8] Tankersley D, Stowe J C, Huettel S A. Altruism is associated with an increased neural response to agency [J]. Nature Neuroscience, 2007(10):150-151

[9] Tetsushi O, Takao T. Cooperation in the Prisoner's Dilemma Game Based on the Second-Best Decision [J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2009, 12(4):7

[10] 李静,陈蜀宇,吴长泽. 网格中一种小世界网络的分布式构造方法[J]. 电子学报,2008,36(2):413-416

[11] Meng Qing-mei, Wu Wei-guo. Artificial emotional model based on finite state machine [J]. Journal of Central South University of Technology, 2008, 15(5):694-699

[12] Nie Yong-you, Shan Xiao-wen, Bai Tao, et al. Evolutionary game analysis between the government and the waste producer in the venous industry [J]. Journal of Shanghai University (English Edition), 2010, 14(2):116-121