

分段惩罚机制的广义N人演化雪堆博弈模型在电子商务平台中的应用

陆士希, 丘小玲*

贵州大学, 数学与统计学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年1月10日; 录用日期: 2025年1月23日; 发布日期: 2025年2月28日

摘要

在传统的雪堆博弈中, 通常假设对所有背叛者施加惩罚。然而, 在实际的市场营销环境中, 企业的惩罚预算通常是有限的, 因此考虑随机选择一定比例的背叛顾客进行惩罚显得尤为重要。在此背景下, 我们探讨将分段惩罚机制引入多人雪堆博弈模型, 重点分析其对合作演化的影响。我们的目的是研究分段惩罚机制在雪堆博弈中的应用, 分析均衡点的确定性稳定和随机稳定。研究结果表明, 在确定性情况下, 无论是二人还是多人雪堆博弈中, 合作者的比例随着惩罚比例的增加而提高, 从而更有效地促进市场中的合作与品牌忠诚。这一发现为企业设计灵活的惩罚策略提供了理论支持, 有助于在资源受限的情况下优化客户关系管理, 提升电子商务平台的信任度和用户满意度。

关键词

雪堆博弈, 惩罚机制, 均衡点, 电子商务平台, 网络营销

The Application of Generalized N-Person Evolutionary Snowdrift Game Model with Segmented Penalty Mechanism in E-Commerce Platform

Shixi Lu, Xiaoling Qiu*

School of Mathematics and Statistics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Jan. 10th, 2025; accepted: Jan. 23rd, 2025; published: Feb. 28th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 陆士希, 丘小玲. 分段惩罚机制的广义N人演化雪堆博弈模型在电子商务平台中的应用[J]. 电子商务评论, 2025, 14(2): 1157-1165. DOI: 10.12677/eci.2025.142635

Abstract

In the traditional snowdrift game, it is usually assumed that all betrayers are punished. However, in the actual marketing environment, the punishment budget of enterprises is usually limited, so it is particularly important to consider randomly selecting a certain proportion of betrayed customers for punishment. In this context, we explore the introduction of the segmented punishment mechanism into the multi-person snowdrift game model, focusing on its impact on the evolution of cooperation. Our purpose is to study the application of piecewise penalty mechanism in snowdrift game, and analyze the deterministic stability and stochastic stability of the equilibrium point. The results show that in the deterministic case, whether it is a two-person or multi-person snowdrift game, the proportion of collaborators increases with the increase of the penalty ratio, thus more effectively promoting cooperation and brand loyalty in the market. This finding provides theoretical support for enterprises to design flexible punishment strategies, helps to optimize customer relationship management in resource-constrained situations, and improves the trust and user satisfaction of e-commerce platforms.

Keywords

Snowdrift Game, Punishment Mechanism, Equilibrium Point, E-Commerce Platform, Internet Marketing

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

合作是电子商务生态系统健康发展的重要动力,但由于市场竞争中个体利益与集体利益之间的矛盾,合作的产生和发展始终受到制约。平台参与者常常基于短期利益做出决策,而忽略了平台的长期利益和生态系统的可持续发展。随着电子商务的快速发展,交易规模的扩大和用户数量的激增带来了一系列挑战,例如信任危机、数据安全风险和恶性竞争等。因此,如何推动合作的发展并克服这些困境显得尤为重要。

生物学家 Nowak [1]在《Science》期刊上发表了促进合作涌现的五种机制:直接互惠[2][3]、间接互惠[4]-[6]、亲缘选择[7]、群组选择[8]和网络互惠[9][10]。除了上述五种机制外,还有一些其他机制也能促进合作的演化,例如奖励,它为表现出合作行为的个体提供积极的反馈。以前的行为实验和理论研究显示了同伴奖励在合作演变中的关键作用[11][12]。Rocio Botta 等人[13]提出了分段惩罚机制,研究惩罚的严重性和范围之间的平衡,以此推动合作行为。赵小雪[14]从技术嵌入的角度出发,分别从宏观和微观两个维度探讨了社交电商平台中信任机制的演变过程。李玉冰[15]首先分析电子商务中大数据杀熟、隐私泄露、追责难等价值失范问题,随后探讨公共价值视角下的协同治理路径。为推动电商发展,多元主体需基于公平、安全、责任的价值共识,各司其职,构建良好生态。

受[13]的启发,本文研究了分段惩罚机制下的广义 N 人雪堆博弈在电子商务平台中的应用,分析其对平台参与者合作演化的影响。通过构建模型,得到了不同情况下唯一确定性稳定均衡的存在条件。最后为了验证理论结果和研究惩罚比例对合作的影响,我们进行了数值模拟,发现理论结果与数值结果一致。

本文的结构如下:第一节考虑分段惩罚机制的广义 N 人演化雪堆博弈模型在电子商务平台中的应用;第二节分析电子商务平台中 N 人雪堆博弈均衡点的确定性稳定;第三节探讨两人雪堆博弈均衡点的随机稳定性;第四节运用数值方法验证理论结果和研究惩罚比例对电子商务合作的影响。

2. 模型

研究演化雪堆博弈模型, 群组中所有人有一个共同铲雪任务, 策略 A 为合作策略, 即参与铲雪, 策略 B 为背叛策略, 即不参与铲雪。当铲雪人数不为 0 时, 每个个体都获得收益 b , 其中铲雪成本 c 由铲雪者分担, 此时背叛者没有贡献, 不用负担任何成本, 理性的参与者会选择背叛策略, 根据以上可以分别写出选择策略 A 的个体收益 $\pi'_A(i)$ 和选择策略 B 的个体收益 $\pi'_B(i)$ 如下:

$$\pi'_A(i) = b - \frac{c}{i},$$

$$\pi'_B(i) = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ b, & i > 0 \end{cases}.$$

其中 i 为整个种群中选择策略 A 的个体数。

为了促进合作, 克服个体倾向于选择背叛策略的情况。因此引入一个分段惩罚机制[13]进行惩罚。假设在背叛者中随机选取一定比例 s 的背叛者进行惩罚, 而不惩罚剩下比例 $1-s$ 的背叛者。 p 表示惩罚的百分比, 如果 $p=0.2$, 则被惩罚背叛者的收益是 $0.8b$; 如果 $p=0$, 则被惩罚背叛者的收益是 0 。而一个背叛者不确定他是否受到惩罚, 我们用一个预期收益 $\pi_B(i)$: 他有 s 的概率会失去 pb 的收益, 有 $1-s$ 的概率会保持收益。因此, 在相互作用的组中选择策略 A 、 B 类型个体的收益可以写成如下形式:

$$\pi_A(i) = b - \frac{c}{i},$$

$$\pi_B(i) = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ s(1-p)b + (1-s)b, & i > 0 \end{cases}.$$

假设 x 表示合作者在整个群体中的比例, $1-x$ 相应表示背叛者的比例。此外, 群组的构成遵循二项分布。因此, 合作者和背叛者对应的平均收益计算为

$$f_A = \sum_{h=0}^{Q-1} \binom{N-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} \pi_A(h+1),$$

和

$$f_B = \sum_{h=0}^{Q-1} \binom{N-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} \pi_B(h).$$

相应地,

$$f_A - f_B = \sum_{h=0}^{Q-1} \binom{Q-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} (\pi_A(h+1) - \pi_B(h))$$

$$= \begin{cases} (1-x)^{Q-1} (b-c) + \sum_{h=1}^{Q-1} \binom{Q-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} \left(spb - \frac{c}{h+1} \right) & x \in [0, 1] \\ (1-x)^{Q-1} (b-spb) + (1-x)^Q \frac{c}{xQ} + spb - \frac{c}{xQ} & x \in (0, 1], \end{cases} \quad (1)$$

因此, 复制动力学方程为

$$\begin{aligned}
 dx &= x(1-x)(f_A - f_B)dt \\
 &= \begin{cases} x(1-x) \left[(1-x)^{Q-1}(b-c) + \sum_{h=1}^{Q-1} \binom{Q-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} \left(spb - \frac{c}{h+1} \right) \right] & x \in [0,1] \\ x(1-x) \left[(1-x)^{Q-1}(b-spb) + (1-x)^Q \frac{c}{xQ} + spb - \frac{c}{xQ} \right] & x \in (0,1], \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

接下来, 首先针对(2)分析其确定性的演化稳定点, 然后随机项, 建立随机影响下的博弈模型, 研究该模型的稳定平衡点。

3. N 人雪堆博弈均衡点的确定性稳定分析

为了描述(2)在平衡点附近位置的特征, 定义函数 $W(x)$ 如下

$$W(x) = f_A - f_B = (1-x)^{Q-1} \left(b - spb + \frac{c}{xQ} - \frac{c}{Q} \right) + spb - \frac{c}{xQ}.$$

定理 3.1 当 $Q=2$ 时, 如果 $b > c$, $spb < \frac{c}{2}$, 那么 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上单调递减, 且有一个零点。

证明: 当 $Q=2$ 时, $W(x) = f_A - f_B = x \left(-b + spb + \frac{c}{2} \right) + (b-c)$, 显然 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上单调递减, 且有一个零点。

定理 3.2 若 $b > c$, $spb < \frac{c}{2}$, $Q \geq 3$, $-cQ + c + 2Qb - 2spbQ - 2b + 2spb > \frac{c}{Q}$, 则 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上是先减后增的。

证明: $W(x)$ 关于 x 的一阶导为:

$$\frac{d}{dx} W(x) = (1-x)^{Q-2} \left[-(Q-1) \left(b - spb - \frac{c}{Q} \right) - \frac{c}{Qx^2} (Qx+1-2x) \right] + \frac{c}{x^2Q},$$

令 $E(x) = (1-x)^{Q-2} \left[(Q-1) \left(b - spb - \frac{c}{Q} \right) x^2 + \frac{c}{Q} (Qx+1-2x) \right]$, $H(x) = \frac{c}{Q}$, 因为 $E(x)$ 在零点附近的一阶展开式为 0, 在零点附近的二阶展开式为 $-cQ + c + 2Qb - 2spbQ - 2b + 2spb$, 所以当 $-cQ + c + 2Qb - 2spbQ - 2b + 2spb > \frac{c}{Q}$ 时, $E(x) > H(x)$, 即 $\frac{d}{dx} W(x) < 0$; 而 $E(x)$ 在 $x=1$ 处等于 0, 所以 $E(x) < H(x)$, 即 $\frac{d}{dx} W(x) > 0$ 。显然可以知道 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上先减后增。

定理 3.3 当 Q 充分大时, 存在 $\bar{x} \in (0,1)$, 若 $spb - \frac{c}{\bar{x}Q} < 0$, 那么 $W(\bar{x}) < 0$ 。

证明: 因为 $b - \frac{c}{Q} > 0$, $spb - \frac{c}{\bar{x}Q} < 0$, Q 充分大, 所以 $(1-\bar{x})^{Q-1} < \frac{-spb + \frac{c}{\bar{x}Q}}{b - \frac{c}{Q} - spb + \frac{c}{\bar{x}Q}}$, 即 $W(\bar{x}) < 0$ 。

定理 3.4 当 Q 充分大时, 如果 $-cQ + c + 2Qb - 2spbQ - 2b + 2spb > \frac{c}{Q}$, $b > c$, $spb < \frac{c}{2}$, $spb - \frac{c}{Q} > 0$, 以及 $spb - \frac{c}{xQ} < 0 (\bar{x} \in (0,1))$, 那么 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上有两个零点, 分别记为左零点 x_L 和右零点 x_R , 且 x_L 稳定, x_R 不稳定。

证明: 由于 $W(0) = b - c > 0$, $W(1) = spb - \frac{c}{Q}$, 当 $Q > \frac{c}{spb}$ 时, $W(1) > 0$, 且存在 $W(\bar{x}) < 0$ 时, 我们可以知道 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上有两个零点, 分别记为左零点 x_L 和右零点 x_R , 且 x_L 稳定, x_R 不稳定; 当 $Q < \frac{c}{spb}$ 时, $W(1) < 0$, 我们可以知道 $W(x)$ 在 $(0,1)$ 上有一个零点。

本节证明了在一定条件下动力学方程(2)一定存在稳定的均衡点 $\bar{x}$ 。下面将在确定性动力学方程(2)的基础上, 加入随机项, 建立随机影响下的博弈模型, 讨论平衡点的稳定性。

4. N 人雪堆博弈均衡点的随机演变稳定性分析

为了描述随机扰动对博弈演变的影响, Foster 和 Young 提出了随机演化动力学, 并给出了策略随机稳定的条件。具体地说, 在一个无限大的混合种群中, 假设每个个体都通过采用 $n > 1$ 策略之一(记为 $S_1, S_2, \dots, S_n$)与其余个体进行交互。相应地, $y_i (0 \leq y_i \leq 1)$ 表示采用 S_i 策略的参与人的比例, 则随机复制动力学方程可以表示为:

$$dy_i(t) = y_i(t) \left(f_{y_i}(t) - \bar{f}(t) \right) dt + \sigma dW(t),$$

其中 f_{y_i} 表示参与人采用策略 S_i 的平均收益, $\bar{f}$ 表示总体的平均收益, 随机噪声 $W(t)$ 是一个标准的维纳过程, σ 表示该噪声的强度。此外, 为了描述 n 维复制动力学的状态, 可以定义 $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 满足 $\sum_{i=1}^n y_i = 1$ 。因此, 根据上面的定义, 在确定性复制动力学方程(2)中加入随机扰动, 得到随机复制动力学方程如下:

$$\begin{aligned} dx &= x(1-x)(f_A - f_B)dt + \sigma dW(t) \\ &= x(1-x) \left[(1-x)^{Q-1}(b-c) + \sum_{h=1}^{Q-1} \binom{Q-1}{h} x^h (1-x)^{Q-1-h} \left(spb - \frac{c}{h+1} \right) \right] dt + \sigma dW(t) \end{aligned} \quad (3)$$

随机演变博弈模型的稳定性分析

在本节中, 我们首先研究两人的随机稳定性, 其次讨论 N 人的随机稳定性。

定理 4.1 对于(3), 令 $Q = 2$, 则 $x^* = -\frac{b-c}{\frac{c}{2} - b + spb}$ 是唯一的随机稳定均衡且对应群体的随机稳定状态

$$\text{向量 } y^* = \begin{bmatrix} -\frac{b-c}{\frac{c}{2} - b + spb}, \frac{-\frac{c}{2} + spb}{\frac{c}{2} - b + spb} \end{bmatrix}^T.$$

证明: 根据势函数公式,

$$\begin{aligned} U(x) &= -\int_0^x z(1-z) \left[(1-z)^1(b-c) + z \left(spb - \frac{c}{2} \right) \right] dz \\ &= -\int_0^x (z - z^2) \left[(b-c) + \left(\frac{c}{2} - b + spb \right) z \right] dz \\ &= -\int_0^x \left[(b-c)z + \left(\frac{3c}{2} - 2b + spb \right) z^2 - \left(\frac{c}{2} - b + spb \right) z^3 \right] dz \\ &= -\frac{1}{2}(b-c)x^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{3c}{2} - 2b + spb \right) x^3 + \frac{1}{4} \left(\frac{c}{2} - b + spb \right) x^4 \end{aligned}$$

函数 $U(x)$ 在区间 $0 \leq x \leq 1$ 上取得最小值时对应的解为 $x^* = -\frac{b-c}{\frac{c}{2}-b+spb}$ 。因此, 唯一的随机稳定均衡

$$\text{可以确定为 } x^*, \text{ 对应群体的随机稳定状态向量 } y^* = \begin{bmatrix} -\frac{b-c}{\frac{c}{2}-b+spb}, \frac{-\frac{c}{2}+spb}{\frac{c}{2}-b+spb} \end{bmatrix}^T。$$

但是, 当 $Q > 2$ 时, 计算变得复杂起来, (3) 在随机稳定均衡处的封闭解不再容易得到。

5. 数值分析

在本节中, 将研究不同惩罚比例对广义雪堆博弈稳定平衡和随机稳定平衡的影响。见图 1, 本节考虑了确定型两人博弈的惩罚比例随合作者频率的变化情况, 并发现在 $s=0.8$ 的系统中存在两个均衡, 在 $s=0.2, 0.4, 0.6$ 的系统中存在三个均衡, 他们不一样是因为当 $s=0.8$ 时, $spb < \frac{c}{2}$ 使得内部均衡点不存在。

当 $s=0.2, 0.4, 0.6$ 时, 边界均衡点 $x=0$ 不稳定, 边界均衡 $x=1$ 和内部均衡点 x_1^*, x_2^*, x_3^* 都稳定; 当 $s=0.8$ 时, 边界均衡点 $x=0$ 不稳定, $x=1$ 稳定。见图 2, 四个系统在相同的初始条件 $x_0=0.99$ 下最终分别演化到四个不同的状态: $s=0.2$ 的系统最终演化到 $x=0.5882$ 附近, $s=0.4$ 的系统最终演化到 $x=0.7143$ 附近, $s=0.6$ 的系统最终演化到 $x=0.9091$ 附近, $s=0.8$ 的系统最终演化到 $x=1$ 附近。根据 x_1^*, x_2^*, x_3^* 和 $x=1$ 的大小关系, 容易发现惩罚比例越大越能增加合作者的比例, 越能促进合作。见图 3, 三个系统的势函数都有唯一的最小值点, 并且最小值点所对应的自变量的取值与图 1 中的 x_1^*, x_2^*, x_3^* 相重合。因此, x_1^*, x_2^*, x_3^* 分别是两人随机雪堆博弈的唯一随机稳定平衡点, 基本参数: $c=10$, $N=2$, $b=15$, $p=0.5$ 。

其次, 研究了不同惩罚比例下的 N 人广义雪堆博弈的稳定均衡。见图 4, 本节考虑了确定型 N 人雪堆博弈的惩罚比例随合作者频率的变化情况, 并发现在 $s=0.4$ 的系统中存在两个均衡, 在 $s=0.1, 0.2, 0.3$ 的系统中存在四个均衡, 他们不一样是因为当 $s=0.4$ 时, $W(x) > 0 (\forall x \in (0, 1))$ 使得内部均衡点不存在。当 $s=0.1, 0.2, 0.3$ 时, 边界均衡点 $x=0$ 和内部均衡点 x_{1R}, x_{2R}, x_{3R} 都不稳定, 边界均衡 $x=1$ 和内部均衡点 x_{1R}, x_{2R}, x_{3R} 都稳定; 当 $s=0.4$ 时, 边界均衡点 $x=0$ 不稳定, $x=1$ 稳定。见图 5, 三个系统在相同的初始

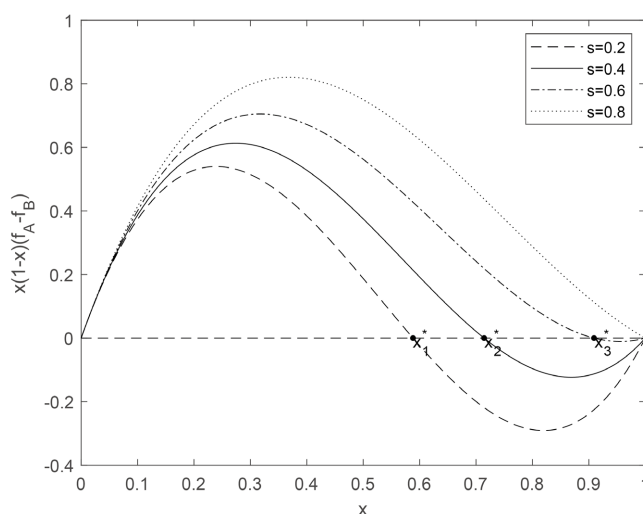


Figure 1. Replication dynamic equation of two-person snowdrift model

图 1. 两人雪堆模型的复制动态方程

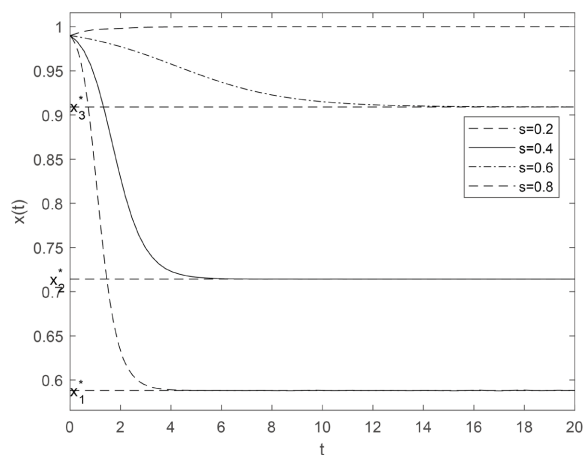


Figure 2. Two-person snowdrift model changes with time
图 2. 两人雪堆模型随时间变化情况

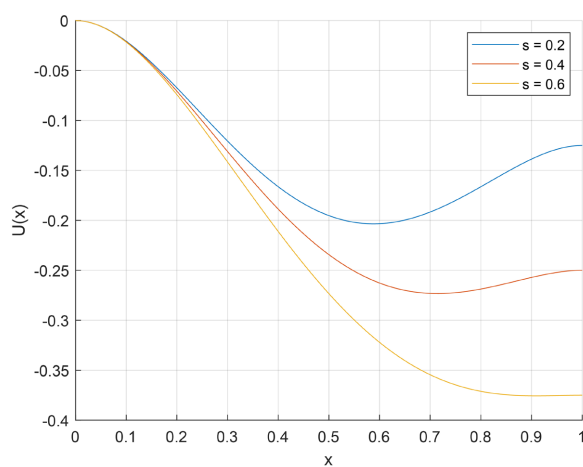


Figure 3. Potential function of two-person snowdrift model
图 3. 两人雪堆模型的势函数

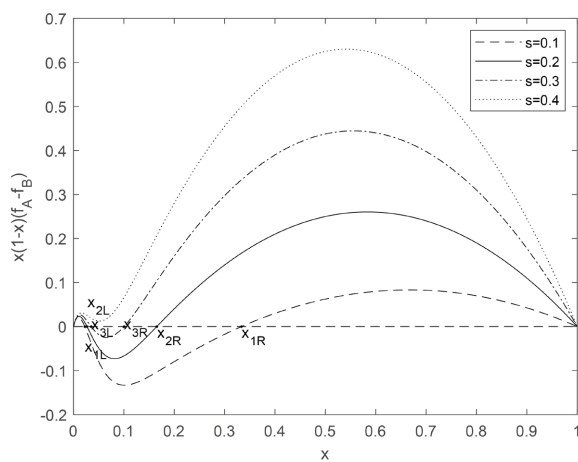


Figure 4. Replication dynamic equation of N-person snowdrift model
图 4. N 人雪堆模型的复制动态方程

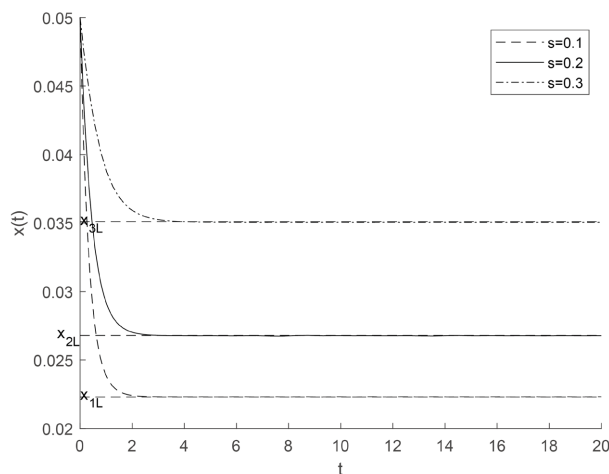


Figure 5. N-person snowdrift model changes with time ($s = 0.1, 0.2, 0.3$)

图 5. N 人雪堆模型随时间变化情况($s = 0.1, 0.2, 0.3$)

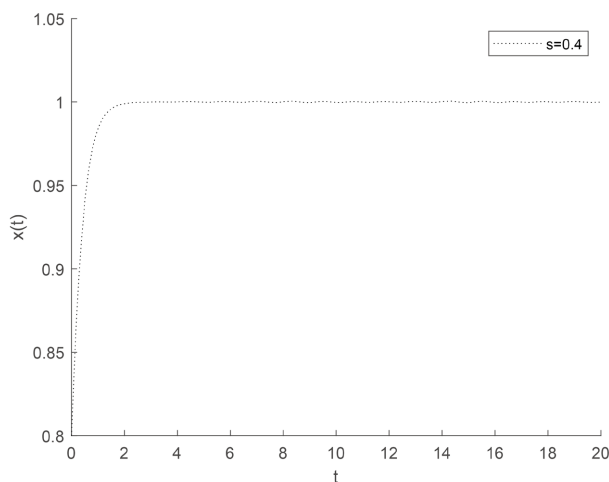


Figure 6. N-person snowdrift model changes with time ($s = 0.4$)

图 6. N 人雪堆模型随时间变化情况($s = 0.4$)

条件 $x_0 = 0.05$ 下最终分别演化为三个不同的状态: $s = 0.1$ 的系统最终演化到 $x = 0.0223$ 附近, $s = 0.2$ 的系统最终演化到 $x = 0.0268$ 附近, $s = 0.3$ 的系统最终演化到 $x = 0.0351$ 附近。见图 6, $s = 0.4$ 的系统最终演化到 $x = 1$ 附近。根据 x_{1R}, x_{2R}, x_{3R} 和 $x = 1$ 的大小关系, 容易发现惩罚比例越大越能增加合作者的比例, 越能促进合作, 基本参数: $c = 10$, $N = 40$, $b = 15$, $p = 0.5$ 。

6. 总结

本文研究了分段惩罚机制下的广义 N 人雪堆博弈在电子商务平台中的应用, 分析其对平台参与者合作演化的影响。在电子商务领域, C2C 和 B2B 等交易模式中, 平台参与者之间的合作对于提高交易效率、增强用户信任和促进平台可持续发展具有重要意义。然而, 由于市场竞争激烈、个体利益与集体利益的矛盾, 合作行为往往受到阻碍。通过构建模型, 本文得到了不同情况下唯一确定性稳定均衡的存在条件, 找到了二人随机稳定平衡点。通过数值分析, 发现惩罚比例越大, 越能增加合作者的比例, 从而促进合作; 同时验证了两人随机雪堆博弈的唯一随机稳定平衡点也是确定平衡点。与经典雪堆博弈相比, 本文

加入了分段惩罚机制, 研究了惩罚比例对决策者在雪堆博弈中的影响, 更加贴近电子商务平台中合作与竞争的现实情况。这为电子商务平台设计合理的激励与惩罚机制, 促进平台参与者之间的合作提供了理论依据和实践指导。

致 谢

感谢审稿人对原稿提出的宝贵意见和建议。

基金项目

本文由贵州省教育厅科学基金(黔科合 KY 字[2021] 088 号, 黔科合 KY 字[2022] 301)、贵州省师范学院博士基金(No. 2021BS005)资助。

参考文献

- [1] Nowak, M.A. (2006) Five Rules for the Evolution of Cooperation. *Science*, **314**, 1560-1563. <https://doi.org/10.1126/science.1133755>
- [2] Trivers, R.L. (1971) The Evolution of Reciprocal Altruism. *The Quarterly Review of Biology*, **46**, 35-57. <https://doi.org/10.1086/406755>
- [3] van Veelen, M., García, J., Rand, D.G. and Nowak, M.A. (2012) Direct Reciprocity in Structured Populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109**, 9929-9934. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206694109>
- [4] Nowak, M.A. and Sigmund, K. (1998) Evolution of Indirect Reciprocity by Image Scoring. *Nature*, **393**, 573-577. <https://doi.org/10.1038/31225>
- [5] Wedekind, C. and Milinski, M. (2000) Cooperation through Image Scoring in Humans. *Science*, **288**, 850-852. <https://doi.org/10.1126/science.288.5467.850>
- [6] Santos, F.P., Pacheco, J.M. and Santos, F.C. (2016) Evolution of Cooperation under Indirect Reciprocity and Arbitrary Exploration Rates. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 37517. <https://doi.org/10.1038/srep37517>
- [7] Dawkins, R. (1976) *The Selfish Gene*. Oxford University Press.
- [8] Wilson, D.S. (1975) A Theory of Group Selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **72**, 143-146. <https://doi.org/10.1073/pnas.72.1.143>
- [9] Lieberman, E., Hauert, C. and Nowak, M.A. (2005) Evolutionary Dynamics on Graphs. *Nature*, **433**, 312-316. <https://doi.org/10.1038/nature03204>
- [10] Su, Q., Li, A., Wang, L. and Eugene Stanley, H. (2019) Spatial Reciprocity in the Evolution of Cooperation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **286**, Article 20190041. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0041>
- [11] Gneezy, A. and Fessler, D.M.T. (2011) Conflict, Sticks and Carrots: War Increases Prosocial Punishments and Rewards. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **279**, 219-223. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0805>
- [12] Hilbe, C. and Sigmund, K. (2010) Incentives and Opportunism: From the Carrot to the Stick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **277**, 2427-2433. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0065>
- [13] Botta, R., Blanco, G. and Schaerer, C.E. (2024) Discipline and Punishment in Panoptical Public Goods Games. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 7903. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57842-0>
- [14] 赵小雪. 技术嵌入视角下社交电商平台信任演化机制研究[J]. 电子商务评论, 2024, 13(2): 3255-3561.
- [15] 李玉冰. 公共价值视角下的电子商务协同治理之探[J]. 电子商务评论, 2024, 13(2): 857-862.