

面向群体利益分配的蚁群劳动分工建模与仿真^①

肖人彬, 王英聪

(华中科技大学自动化学院, 武汉 430074)

摘要: 建立公平的社会群体利益分配机制是解决当前由利益失衡引发的社会矛盾与冲突的关键所在。基于对蚁群劳动分工在任务分配中所表现出柔性特征的分析, 提出借鉴该任务分配柔性来实现利益分配柔性的新思路。首先从分配的角度对利益的概念进行界定, 给出了其形式化描述, 引入相对剥夺感来衡量利益分配的公平性。随后根据社会群体利益的特点, 对基本蚁群劳动分工模型进行扩展, 借助恢复因子来协调不同利益群体, 建立了面向利益分配的蚁群劳动分工模型, 给出了该模型的算法实现流程。选取一个具有代表性的利益分配实例进行仿真实验, 从恢复性和分配柔性两方面验证本文模型的有效性。通过仿真分析发现, 利益实现能力在利益分配过程中具有主导作用; 对于利益分配不公的情况, 恢复因子能够起到有效的恢复作用, 且在动态环境下显示出良好的利益分配柔性。最后给出了利益型群体事件演化过程的描述, 定量分析了其中的恢复情况, 阐述了现实中利益型群体事件的演化规律。

关键词: 蚁群; 劳动分工; 柔性; 利益分配; 相对剥夺感; 恢复因子

中图分类号: N94; C914 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2016)10-0001-15

0 引言

当前中国正处在从传统向现代急剧变化的社会转型期^[1], 在经济高速增长的同时, 也出现了很多社会问题。这些问题主要集中在由社会群体利益失衡所导致的社会矛盾与冲突。正如著名学者 Huntington 所指出的那样, 现代性孕育着稳定, 而现代化过程却滋生着动乱^[2]。李汉林等^[3]将这些问题很大程度上归结为“结构紧张”所产生的张力, 认为“结构紧张”主要表现为结构要素之间的紧张与脱节, 使不同利益群体之间产生不满, 进而引发矛盾与冲突。

当前中国出现的社会矛盾和冲突很大程度上是强势阶层和利益群体对其他阶层和群体进行利益掠夺的反应和结果, 即中国转型时期社会矛盾与冲突的核心是利益之争, 其中以经济利益为主。

在社会转型期, 社会结构发生重大变化, 阶层和群体的分化造成了利益的分化。因此, 社会转型过程也是社会利益分化和重构的过程^[4], 呈现出利益主体多元化、利益需求多样化等特点。在各种社会资源有限的前提下, 多元化的利益主体不可避免的相互竞争和冲突, 其典型表现就是群体性事件频发^[5]。群体性事件很大程度上是利益之争, 这里的利益主要指经济利益, 属于分配问题。由于分配不公, 严重影响了社会稳定。

只有重建公平合理的社会利益分配机制, 才能有效实现社会恢复。由于社会利益分化不当, 导致利益差距扩大, 利益受损群体出现强烈的不公平感和相对剥夺感, 从而产生怨恨和不满。这种情绪在特定的情况下宣泄爆发, 就可能演变成为一种极端行为, 从而引发社会的不稳定。因此, 只有借助公平合理的利益分配机制, 才能缓解民

^① 收稿日期: 2014-07-09; 修订日期: 2015-05-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61540032); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20130142110051).

作者简介: 肖人彬(1965—), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: rbxiao@hust.edu.cn

众的不满情绪。向玉乔^[6]认为借助社会制度的合理设计和安排来实现分配正义是当今中国实现有序转型的当务之急。

公平合理的社会利益分配机制关键要在动态环境下具有分配柔性。就社会转型的模式而言,可以分为激进式转型和渐进式转型两类。中国社会转型属于渐进式转型^[7],在转型时期经常伴随着体制的调整和变革,进而引起利益的再分配。因此,中国社会转型是一个动态变化的过程。在这个过程中,社会利益分配机制要保证其公平合理性,就必须能够适应动态变化的环境,即具有分配柔性。

蚁群作为一类社会性群体,其劳动分工行为具有明显的自适应和自我调节的特征^[8]。蚁群劳动分工的一个显著特点就是由个体行为柔性产生群体分工的可塑性,即执行各项任务的蚂蚁的比率在内部繁衍生息的压力和外部侵略挑战的作用下是可以变化的。该比率使得蚁群能有效地完成任务分配,是蚁群成功生存的关键。蚁群劳动分工在解决任务分配过程中具有任务分配柔性,本文将借鉴该任务分配柔性实现利益分配柔性。

1 文献综述

群集智能是指众多行为简单的个体相互作用过程中涌现产生的整体智能行为^[8]。就优化而言,群集智能已包括蚁群优化方法ACO和粒子群优化方法PSO两个大类。ACO和PSO的一系列实现算法已在优化问题上取得了较好的效果,如多目标优化^[9,10]、组合优化^[11-14]和供应链优化^[15,16]等。ACO和PSO分别是对蚁群觅食和鸟群觅食的模拟,此外还有对蜂群觅食^[17]等的模拟,这些都属于群集智能中的觅食模型。劳动分工模型作为一类重要的群集智能模型,也得到了广泛关注^[8]。

劳动分工是蚁群等社会性昆虫的重要特征。在生物蚁群社会中,其劳动分工可以划分为多个层次。第一层次的划分一般可分为从事繁殖的个体和从事日常工作的个体;对从事日常工作的个体又可以进行下一层次的划分,如可分为寻找食

物的蚂蚁、建筑巢穴的蚂蚁和哺育幼虫的蚂蚁等。蚁群劳动分工的显著特点就是由个体行为柔性产生群体分工的可塑性,即执行各项任务的个体的比率在内部繁衍生息的压力和外部侵略挑战的作用下是可以变化的。这种可塑性一方面使得族群能够适应变化的环境,表现为适应性;另一方面使得族群在某些个体任务失败的情况下仍能完成任务,表现为鲁棒性。

Bonabeau等^[18]提出响应阈值模型来研究蚁群劳动分工行为。该模型是一个刺激-反应模型,认为劳动分工源于族群个体内部阈值对外部刺激的不同反应。当任务的刺激强度超过了个体的阈值时,个体响应任务的概率高;反之,个体执行任务的概率低。任务的执行会减少刺激强度,从而降低其它高阈值个体执行任务的概率。响应阈值模型由于其模型简单、便于实现等优势,已在企业生产管理^[19-21]、任务分配^[22-24]、群机器人系统^[25-27]等方面得到应用。

蚁群劳动分工使得蚂蚁在并不知晓任何关于族群需求的全局信息的情况下,自动地实现族群内个体的分工,并达到一个相对的平衡。其结果不仅使得每个蚂蚁都在忙碌地工作,而且任务的分工又恰好符合族群对各项任务的要求。劳动分工本质上是任务的分配,响应阈值模型反映了任务分配的柔性,正是如此,响应阈值模型在现实任务分配问题中才取得成功应用。本文仿照蚁群的劳动分工行为实现转型时期社会群体的利益分配,将响应阈值模型的任务分配柔性映射为社会群体在变动环境下的利益分配柔性,建立定制化的响应阈值模型,借助模型分析探讨转型时期的社会恢复原理。

2 利益及其表达

由于研究视角的差异,人们对利益有着不同的定义。洪远朋等^[28]从好处、需求、价值、权利和关系等角度对利益概念的界定进行了梳理。从利益分配的角度出发,人们更多关心的是自身收益相对于贡献的实现程度,以及与其他人的比较。本文从贡献、收益、比较这三方面展开,对利益概念进行界定,进而给出其形式化描述。

2.1 贡献

单个利益主体不存在利益分配问题, 利益分配过程通常涉及多个利益主体, 总体利益由这些利益主体共同创造. 由于分工以及各个利益主体自身能力等方面的不同, 导致其在创造总体利益的过程中所作的贡献不同. 利益主体的贡献可以从其在创造总体利益的过程中所投入的劳动、资本、技术、管理等方面来衡量.

假设评价贡献的指标共有 m 个, 并用 q_1, q_2, \dots, q_m 表示. 以这些指标为基础, 利益主体 i 的贡献 C_i 可用式(1)表示

$$C_i = \sum_{j=1}^m d_j q_{ij} \quad (1)$$

式中 d_j 表示第 j 个指标在整体评价中的权重, q_{ij} 表示利益主体 i 在第 j 个指标上的投入. 则利益主体 i 的贡献由其投入 $Q_i = [q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im}]$ 和评价指标权重体系 $D = [d_1, d_2, \dots, d_m]$ 共同决定, 其中 Q_i 由利益主体提供, D 由分配制度决定. 对于 D 有 $0 < d_j \leq 1$, 且 $\sum d_j = 1$.

2.2 收益

利益主体的收益指其在利益分配中所得到的实际利益. 在创造总体利益的过程中, 根据各利益主体的贡献可以得到其相应的贡献率, 如式(2)所示

$$c_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^N C_j} \quad (2)$$

式中 c_i 表示利益主体 i 的贡献率, N 为参与创造总体利益的利益主体个数, 并有 $\sum c_i = 1$.

假设利益主体创造的总体利益为 TI , 利益主体 i 的收益为 G_i , 则 $TI = \sum G_i$. 对所有的利益主体而言, 最公平理想的收益为 $G_i = c_i * TI$. 为了便于描述利益主体的收益和贡献的关系, 对贡献作如式(3)所示的变换

$$C_i = f(C_i) = \frac{TI}{\sum_{j=1}^N C_j} \times C_i = \lambda \times C_i \quad (3)$$

式中 λ 为常数, 变换后 $C_i = c_i * TI$. 当 $G_i = C_i$ 时, 利益主体 i 的收益与贡献匹配; 当 $G_i \neq C_i$ 时, 利益主体 i 的收益与贡献不匹配.

2.3 相对剥夺感

对贡献作变换后, 可以进一步定义利益主体

的收益相对于贡献的实现程度, 如式(4)所示

$$A_i = \frac{G_i}{C_i} \times 100\% \quad (4)$$

在利益分配过程中, 人们除了关心自身贡献的实现程度, 还会关注其他人的贡献实现程度. 人们将自己的贡献实现程度与其他参照群体进行比较后, 如果感到自己应得的利益受到“剥夺”, 就会产生一种不平衡的心理感受——相对剥夺感^[29-31]. 社会不公是相对剥夺感产生的主要原因, Stark 等^[32]研究了相对剥夺感的定量计算公式

$$RD_i = AD(Y_i) P(Y_i) \quad (5)$$

式中 Y_i 代表个体 i 的收入, $AD(Y_i)$ 指高于 Y_i 的所有收入高出 Y_i 的平均值, $P(Y_i)$ 是参考群体中收入高于 Y_i 的个体比例. 由式(5)可以看出, 对于给定的平均超出值, 个体的相对剥夺感是超出比例的增函数; 对于给定的超出比例, 平均超出值越大, 相对剥夺感越高.

从利益分配的角度, 相对剥夺感主要是由利益分配不公导致的结果. 利益分配不公造成利益主体的贡献实现程度 A_i 不同, 使得利益受损群体感到自己应得的利益受到剥夺, 进而产生相对剥夺感. 在利益主体贡献实现程度 A_i 的基础上, 借鉴式(5), 定义利益主体与参考群体(参与创造总体利益的所有利益主体)比较后产生的相对剥夺感

$$RD_i = AD(A_i) P(A_i) \quad (6)$$

式中 A_i 为利益主体 i 的贡献实现程度, $AD(A_i)$ 指高于 A_i 的所有贡献实现程度高出 A_i 的平均值, $P(A_i)$ 是参考群体中贡献实现程度高于 A_i 的利益主体的比例.

因此, 从利益分配的角度出发, 利益可以表示为

$$I = F(C, G, RD) \quad (7)$$

式中 C 为利益主体的贡献, G 为利益主体的收益, RD 为利益主体的相对剥夺感.

3 面向利益分配的蚁群劳动分工模型的建立

3.1 基本蚁群劳动分工模型

Bonabeau 等人在对蚁群的劳动分工行为进

行深入研究的基础上,提出了一种响应阈值模型^[18].该模型是一个刺激—反应模型,模型中每个任务都有一个刺激 s 与之对应,刺激强度与任务的紧急程度有关,其变化由任务的执行(一旦任务被执行,刺激强度会降低)和任务需求的自主增加共同决定.对于每个蚂蚁都存在一个固定的响应阈值 θ ,该阈值是决定蚂蚁响应刺激而从事相应任务的倾向性的一个内部变量.当任务的刺激强度超过了蚂蚁的阈值时,蚂蚁响应任务的概率高;反之,蚂蚁执行任务的概率低.

令 X_i 表示蚂蚁 i 的活动状态($X_i = 0$ 表示未参与任务, $X_i = 1$ 表示参与任务), θ_i 为蚂蚁 i 的响应阈值.在每个单位时间内,非活动的蚂蚁按式(8)所示概率参与任务,活动的蚂蚁按式(9)所示概率退出任务,任务刺激值按式(10)随时间变化,其中 δ 是刺激强度的单位时间增加量, α 为蚂蚁执行任务的效率, N_{act} 为当前活动蚂蚁的数量.此外,蚂蚁参与任务的概率和退出任务的概率是相互独立的.

$$P(X_i = 0 \rightarrow X_i = 1) = \frac{s^n}{s^n + \theta_i^n} \quad (8)$$

$$P(X_i = 1 \rightarrow X_i = 0) = p \quad (9)$$

$$s(t+1) = s(t) + \delta - \alpha N_{act} \quad (10)$$

3.2 扩展思路

首先,蚁群劳动分工本质上是一种任务分配方式,从分配的角度出发,可以借鉴该任务分配来实现利益分配.其次,传统的利益分配多采用的是自上而下的控制方式,而蚁群任务分配采用的是自下而上的控制方式,具有自适应和自我调节的特征,可以为利益分配问题提供解决思路.最后,根据问题导向的群集智能研究理论,需要充分把握问题对象的特征.社会转型期呈现出社会结构阶层化和利益关系市场化的特点^[33],社会结构分化导致社会利益分化,表现在利益主体多元化、利益差距扩大化和利益矛盾公开化等方面.基于社会群体利益的这些特殊复杂性,需要对基本蚁群劳动分工模型进行扩展,重新设计蚂蚁的属性、任务执行方式和活动环境等模块,扩展思路可以从以下几个方面入手:

1) 在基本蚁群劳动分工模型中,环境刺激与任务有关,对同一任务,蚂蚁感知到的刺激是相同的.在实际利益分配中,环境刺激与公平性有关.

利益主体通过自身收益相对于贡献的实现程度以及与社会群体中其他利益主体的比较等来感知公平性,不同利益主体对公平性的评价不同.因此,不同利益主体感知到的刺激是不同的.

2) 在基本蚁群劳动分工模型中,不同的蚂蚁用阈值来区分,阈值大小通常是人为设定的,主观性较强.在实际利益分配中,同样采用阈值来区分利益主体.由于不同的利益主体,尤其是处于不同阶层地位的利益主体,享有不同的资源分配权力和社会机会,导致其在利益分配过程中所处地位不同,其阈值选择具有情景依赖的特点.

3) 在基本蚁群劳动分工模型中,假设蚂蚁等概率感知所有刺激,蚂蚁响应不同任务(可以看作是采取不同行为)的概率以及退出任务的概率是相互独立的.在实际利益分配中,利益主体采取不同行为所对应的刺激与其感知到的公平性有关,选取不同行为的概率不是独立的,满足概率之和为1的约束.

4) 在基本蚁群劳动分工模型中,任务分配柔性表现为在环境发生变化的情况下,整个蚁群仍能比较有效地实现任务分配.阈值是决定蚂蚁响应刺激而从事相应的任务的倾向性的一个内部变量,任务分配柔性阈值有关.蚂蚁的阈值在整个运行过程中保持不变,这导致该模型有一些不足,不能完全反映蚁群的任务分配柔性.在实际利益分配中,利益分配柔性体现为在变动环境下仍能比较公平地实现利益分配.当每个利益主体都基本感觉到公平时,公平的利益分配得以实现.利益主体感知到的公平性与其利益有关,而利益的实现与阈值有关.要在变动环境下实现利益柔性分配,需要根据环境变化对不同利益主体的阈值进行协调.

3.3 面向利益分配的蚁群劳动分工模型

3.3.1 公平性评价指标

社会利益分配不公导致社会矛盾与冲突加剧,究其原因,是利益受损群体出现强烈的不公平感和相对剥夺感,这种情绪在特定情况下宣泄爆发的结果. Wright 等^[34]研究发现,长期的相对剥夺容易引发成员参与集群行为,其目的是为了改善整个群体的现状.张书维等^[35,36]研究发现,引发群体事件的不满情绪主要根源于“相对剥夺感”.相对剥夺感一般会产生消极情绪,一旦产生

就往往决定着行为人以后的行动,如果这种负面心理感觉无法得以有效消除,而被逐渐积累,很容易外化为违法行为,甚至发展为群体性事件。

社会不公尤其是社会利益分配不公是相对剥夺感产生的主要原因,因此,相对剥夺感可以作为评价利益分配结果的一个指标。其中,个体相对剥夺感作为微观指标反映具体的分配情况,不同个体产生的相对剥夺感不同,相对剥夺感强的个体经常卷入社会矛盾与冲突中;整体相对剥夺感作为宏观指标反映社会利益分配机制的公平性,整体相对剥夺感越低,社会利益分配机制越具有公平性,反之亦然。设参与分配的社会群体中利益主体个数为 N ,利益主体 i 的个体相对剥夺感为 RD_i ,则整体相对剥夺感为

$$TRD = \sum_{i=1}^N RD_i \quad (11)$$

式中 RD_i 由式(6)计算得到。

3.3.2 模型描述

1) 环境刺激

环境刺激 s 是利益主体执行具体分配行为的直接驱动力,刺激越大,采取相应行为的倾向意愿越强,与其相应的机会成本等有关。比如,当利益主体选择增加利益时,自身的相对剥夺感会下降,但会造成其他人相对剥夺感的上升,可能会引起不满,进而影响合作积极性和后续发展等;当利益主体选择减少利益时,虽然损失了利益,却可能为自己赢得口碑和声誉,积累无形资产等。将利益主体在利益分配过程中的行为归纳为三种:利益增加、利益减少和利益不变,与三种行为对应的有三种刺激,即三种倾向意愿。假设每个利益主体都有这三种倾向意愿,只是强弱不同。这里主要介绍利益增加的刺激和利益减少的刺激。

在利益分配过程中,由于总体利益固定,一部分利益主体的利益增加必然导致另一部分利益主体的利益减少,同时,利益主体的利益变化也会影响其选取具体行为的倾向意愿。一般而言,在利益分配过程中,利益主体增加利益以后,其继续增加利益的倾向意愿会相对减弱,减小利益的倾向意愿会相对增强;利益主体减小利益以后,其继续减小利益的倾向意愿会相对减弱,增加利益的倾向意愿会相对增强。选取不同行为倾向意愿的变化程度与具体的利益变化量有关。

首先,利益主体有追求利益的倾向。对利益主体 i 其在创造总体利益的过程中所作贡献为 C_i ,在利益分配过程中所得收益为 G_i ,则利益增加的刺激为

$$s_i^+ = \frac{C_i}{C_i + G_i} \quad (12)$$

由式(12)可以看出,在 G_i 不变的情况下, C_i 的值越大,则 s_i^+ 的值越大。这说明当利益主体 i 所作贡献越高时,利益主体 i 增加利益的刺激越强;在 C_i 不变的情况下, G_i 的值越小,则 s_i^+ 的值越大。这说明当利益主体 i 所得收益越低时,利益主体 i 增加利益的刺激越强。

其次,为了长远利益和后续发展、赢得声誉和口碑等,利益主体也会选择利益减少的行为。此外,人还具有一定程度的利他行为。相应的利益减少的刺激为

$$s_i^- = \frac{G_i}{C_i + G_i} \quad (13)$$

由式(13)可以看出,在 C_i 不变的情况下, G_i 的值越大,则 s_i^- 的值越大。这说明当利益主体 i 所得收益越高时,利益主体 i 减少利益的刺激越强;在 G_i 不变的情况下, C_i 的值越小,则 s_i^- 的值越大。这说明当利益主体 i 所作贡献越低时,利益主体 i 减少利益的刺激越强。

2) 响应阈值

响应阈值 θ 是决定利益主体响应刺激 s 而采取相应行为的倾向性的一个内部变量。阈值越小,采取相应行为的倾向性越强;反之亦然。响应阈值描述了利益主体的能力异质性,尤其是利益实现能力的异质性。这里定义利益实现能力为利益主体提出利益要求,并以一定的途径和手段来达到利益要求的能力,其包含利益的凝聚、表达、追求、维护和协商等多个方面,是一种综合能力。利益实现能力可以看作是不同利益主体在利益博弈场域中的博弈能力。利益实现能力具有异质性特征,由于不同利益主体所占有的资源、权力等不同,造成其利益实现能力有差异。根据对社会资源占有的不同程度,可以将社会群体分为强势群体、中间群体和弱势群体三类。强势群体由于占有较多的社会资源,争取利益的手段多,常常成为有关利益分配的决策制定的积极参与者,在利益分配中居于绝对的优势地位;而弱势群体由于社

会资源的匮乏,导致其利益实现经常处于无力、无效状态,往往成为被动的决策接受者,不仅无法影响事关切身利益的政策制定,也难以通过谈判等方式维护自身利益。

因此,在利益分配过程中,强势群体由于利益实现能力强,常常处于利益得益状态。从表现形式上看,就是其从事利益增加的倾向性大,而从事利益减少的倾向性小。弱势群体则恰恰相反,由于利益实现能力弱,常常处于利益受损状态。从表现形式上看,就是其从事利益增加的倾向性小,而从事利益减少的倾向性大。

设利益主体 i 的利益实现能力为 E_i , 响应利益增加刺激的阈值为 θ_i^+ , 响应利益减少刺激的阈值为 θ_i^- , 则 E_i 与 θ_i^+ 负相关, E_i 与 θ_i^- 正相关。为了简化模型,假设 E_i 与 θ_i^+ 成反比, E_i 与 θ_i^- 成正比,且具有如下关系

$$\theta_i^+ = \frac{1}{kE_i} \tag{14}$$

$$\theta_i^- = kE_i \tag{15}$$

3) 响应概率

在基本蚁群劳动分工模型中,蚂蚁等概率感知所有刺激,蚂蚁参与任务的概率和退出任务的概率是相互独立的。当非活动的蚂蚁感知到与任务有关的刺激时,蚂蚁参与该任务的概率为 $P(X_i = 0 \rightarrow X_i = 1)$, 则不参与该任务的概率为 $1 - P(X_i = 0 \rightarrow X_i = 1)$ 。当活动的蚂蚁参与任务后,每过一个时间段,蚂蚁退出该任务的概率为 $P(X_i = 1 \rightarrow X_i = 0)$, 则继续执行该任务的概率为 $1 - P(X_i = 1 \rightarrow X_i = 0)$ 。此外,蚂蚁响应不同任务的概率也是相互独立的。

当非活动的蚂蚁感知到某一刺激,其选择参与该任务和选择不参与该任务的概率和为 1; 每过一个时间段,活动的蚂蚁选择退出任务和选择继续执行任务的概率和为 1。对于本文模型,在利益分配过程中,利益主体共有三种行为选择,即利益增加、利益减少和利益不变,利益主体只能在三种行为中选择其中一种。令三种行为选择概率分别为 P^+ 、 P^- 和 P^* , 则有 $P^+ + P^- + P^* = 1$ 。

利益主体 i 响应利益增加刺激的概率为

$$P_i^+ = \frac{(s_i^+)^n}{(s_i^+)^n + (\theta_i^+)^n} = \left(\frac{C_i}{C_i + G_i}\right)^n /$$

$$\left(\left(\frac{C_i}{C_i + G_i}\right)^n + \left(\frac{1}{kE_i}\right)^n\right) \tag{16}$$

由式(16)可以看出,利益主体 i 利益增加的刺激越强,利益增加的阈值越低,则执行利益增加行为的概率越大。

利益主体 i 响应利益减少刺激的概率为

$$P_i^- = \frac{(s_i^-)^n}{(s_i^-)^n + (\theta_i^-)^n} = \left(\frac{G_i}{C_i + G_i}\right)^n / \left(\left(\frac{G_i}{C_i + G_i}\right)^n + (kE_i)^n\right) \tag{17}$$

由式(17)可以看出,利益主体 i 利益减少的刺激越强,利益减少的阈值越低,则执行利益减少行为的概率越大。

利益主体 i 响应利益不变刺激的概率为

$$P_i^* = 1 - P_i^+ - P_i^- \tag{18}$$

4) 响应行为

利益主体 i 响应利益增加刺激的行为

$$\varepsilon_i^+ = s_i^+ \times f(E_i) \times rand(\tau_1) \tag{19}$$

式中 $f(E_i)$ 为 E_i 的正相关函数, τ_1 为利益主体在利益增加过程中的平均利益变化量, $rand(\tau_1)$ 表示 0 到 τ_1 内的一个随机数,用以表示利益主体在每次利益增加过程中的不确定性以及不同利益主体之间的差异性。利益增加的刺激越强,利益实现能力越强,则利益增加强度越强。

相应的,利益主体 i 利益增加后的收益

$$G_i = G_i + \varepsilon_i^+ \tag{20}$$

利益主体 i 响应利益减少刺激的行为

$$\varepsilon_i^- = s_i^- \times \varphi(E_i) \times rand(\tau_2) \tag{21}$$

式中 $\varphi(E_i)$ 为 E_i 的负相关函数, τ_2 为利益主体在利益减少过程中的平均利益变化量, $rand(\tau_2)$ 表示 0 到 τ_2 内的一个随机数,用以表示利益主体在每次利益减少过程中的不确定性以及不同利益主体之间的差异性。利益减少的刺激越强,利益实现能力越弱,则利益减少强度越强。

相应的,利益主体 i 利益减少后的收益

$$G_i = G_i - \varepsilon_i^- \tag{22}$$

利益主体 i 采取利益不变行为后的收益仍然为 G_i 。

5) 恢复因子

在使用恢复因子以前,首先要判断在什么情况下需要恢复。相对剥夺感强的群体比相对剥夺感弱的群体更有可能参与到社会冲突中,成为社

会的不稳定因素. 设置 δ 为恢复临界值, 当某一社会群体的相对剥夺感超过 δ 且变得更强时, 需要恢复, 否则不需要恢复.

通过利益再分配来实现恢复. 社会群体利益失衡的根源在于各利益主体的利益实现能力失衡. 因此, 恢复的关键是在利益再分配过程中, 通过恢复因子协调不同利益主体的利益实现能力. 此处, 恢复因子包含增强因子和减弱因子两部分. 社会群体利益失衡的表现是利益实现能力强的个体执行利益增加的次数多, 相对于其贡献得到较多的收益; 利益实现能力弱的个体执行利益减少的次数多, 相对于其贡献得到较少的收益. 因此, 恢复因子的具体操作就是, 利益主体增加利益的同时通过减弱因子 z_1 降低相应的利益实现能力, 如式(23)所示; 利益主体减少利益的同时通过增强因子 z_2 提高相应的利益实现能力, 如式(24)所示.

$$E_i = z_1 \times E_i, \quad 0 < z_1 < 1 \quad (23)$$

$$E_i = z_2 \times E_i, \quad z_2 > 1 \quad (24)$$

最后, 各利益主体的博弈过程可以看作是其在利益场域中讨价还价的过程, 其中利益主体有增加利益、减少利益和保持不变三种行为选择. 利益主体选取某种行为的可能性大小由其选取该行为的倾向意愿和相应的实现能力共同决定, 其中倾向意愿可以看作是感觉必要性, 实现能力可以看作是现实可行性. 不同的利益主体选取不同行为的可能性大小不同, 同一利益主体在不同情况下选取不同行为的可能性大小也不同. 在每一次的讨价还价中, 各利益主体依照与可能性成比例的概率选择相应的行为. 若有的利益主体选择利益增加, 有的利益主体选择利益减少, 则此次讨价还价成功, 通过归一化处理, 使得利益的增加量等于利益的减少量; 否则此次讨价还价失败, 然后进行下一次讨价还价.

3.3.3 算法实现

根据 3.3.2 节的模型描述, 可给出该模型的算法实现流程, 如图 1 所示.

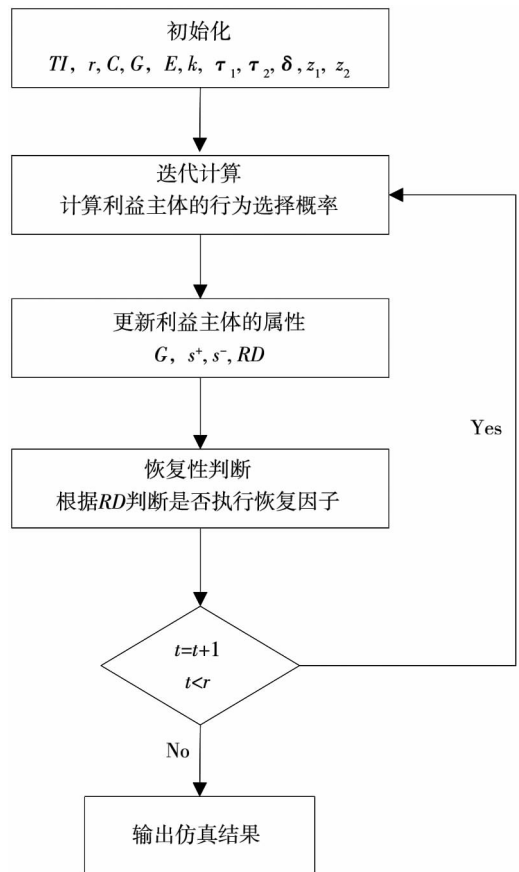


图 1 算法实现流程

Fig. 1 Implementation process of the algorithm

参照图 1 对该算法的实现过程说明如下:

- 1) 初始化: 取初始仿真时间 $t=0$ r 为终止时间; 设置总体利益 TI ; 利益主体的属性值: 贡献 C , 收益 G 利益实现能力 E 能力—阈值转换系数 k , 平均利益变化量 τ_1, τ_2 ; 恢复临界值 δ ; 恢复因子: 减弱因子 z_1 , 增强因子 z_2 转 2);
- 2) 迭代计算: 根据式(16)、式(17)、式(18) 计算利益主体的行为选择概率 转 3);
- 3) 更新利益主体的属性: 根据上述行为选择概率得到具体的行为响应情况, 根据式(20)、式(22) 更新利益主体的收益, 根据式(12)、式(13) 更新相应的环境刺激值, 根据式(6) 计算利益主体的相对剥夺感 RD 转 4);
- 4) 恢复性判断: 如果 $RD^t > \delta$, 且 $RD^t \geq RD^{t-1}$ 根据式(23)、式(24) 更新利益实现能力, 根据式(14)、式(15) 更新响应阈值 转 5);
- 5) 令 $t=t+1$ 若 $t < r$ 转 2, 否则 转 6);
- 6) 输出仿真结果 结束.

4 仿真实验

本文提出的面向利益分配的蚁群劳动分工模型旨在提高利益分配的公平性, 从而减少利益分配不公导致的社会矛盾与冲突, 并提高其在动态变化的分配环境下的适应性. 据此, 选取一个具有代表性的利益分配实例进行仿真, 从恢复性和分配柔性两方面验证本文模型的有效性.

4.1 仿真实例和模型参数设置

海南是中国最大的天然橡胶生产基地, 拥有众多橡胶加工厂. 以当地某橡胶公司 RC (rubber company) 为例, 根据对 RC 资源占有的不同, 将参与 RC 利益分配的群体分为 3 类: Agent1, Agent2 和 Agent3. 这三类利益群体由于占有资源不同, 导致其在利益分配中所处地位不同; 由于分工不同, 导致其对利益所做贡献也不同. 天然橡胶自身的供给特点和市场需求的不确定性, 导致部分时期内天然橡胶的价格波动不稳定. 因此, 橡胶公司经常面临利益调整问题, 合理分配橡胶利益是橡胶公司长久发展的保障.

模型的参数取值如下: 橡胶公司 RC 每月创造的总体利益 TI (单位: 万) 服从 500 至 1 000 的

平均分布, 每一次的仿真终止时间 r 为 150. 根据利益群体 Agent1, Agent2 和 Agent3 在资金、管理、技术、劳动等方面的不同投入, 由式(1)、式(2) 得到各自贡献率分别为 0.4、0.35、0.25, 相应的利益实现能力为 23、12、5, 能力—阈值转换系数 $k = 0.1$, 恢复临界值 $\delta = 0.3$, 恢复因子: 减弱因子 $z_1 = 0.95$ 增强因子 $z_2 = 1.05$, 平均利益变化量 $\tau_1 = \tau_2 = TI/100$.

4.2 仿真结果分析

按第 3 节给出的模型进行编程, 以 50 个月为周期对本实例进行仿真运行. 仿真实验主要从恢复性和分配柔性两方面展开. 观察指标主要从利益分配行为、利益实现程度、利益实现能力和分配公平性(整体相对剥夺感) 等 4 个方面来研究.

1) 恢复性

为了验证恢复因子的有效性, 前 20 个月采用不带恢复因子的利益分配模型(对应 3.3.2 节中 1) - 4)) 后 30 个月采用带恢复因子的利益分配模型(对应 3.3.2 节中的 1) - 5)). 在本节的仿真实验中, 实线曲线对应利益群体 Agent1, 虚线曲线对应利益群体 Agent2, 点划线曲线对应利益群体 Agent3.

对于利益分配行为, 主要研究利益增加行为和利益减少行为. 每个利益群体执行利益增加的次数如图 2 所示, 每个利益群体执行利益减少的次数如图 3 所示. 由图 2、图 3 可以看出, 在考虑恢复因子以前 ($t < 20$), Agent1 执行利益增加的次数最多, 执行利益减少的次数最少, 说明在利益分配过程中, Agent1 采取利益增加行为的倾向性最大, 相应的采取利益减少行为的倾向性最小; Agent3 的具体分配行为与 Agent1 正好相反, 表明其在分配过程中表现出来的行为倾向性与 Agent1 相反. 在考虑恢复因子以后 ($t > 20$), Agent1 执行利益增加的次数逐渐减少, 执行利益减少的次数逐渐增加, 二者最终达到一个大致相等的状态, 并保持稳定. 对于 Agent3 可以观察到类似的结果, 这说明恢复因子的作用是使得利益群体在利益增加行为和利益减少行为上的倾向性趋于一致, 并保持稳定. 具体的, 减弱因子提高利益减少行为的倾向性, 降低利益增加行为的倾向性; 增强因子提高利益增加行为的倾向性, 降低利益减少行为的倾向性. 在整个仿真过程中, Agent2 执行利益增加的次数和执行利益减少的次数基本一致, 且

次数变化波动较小,这说明 Agent2 在利益增加和利益减少上的行为倾向性相似,恢复因子对其不起作用,进一步表明了恢复因子对分配行为的效用。

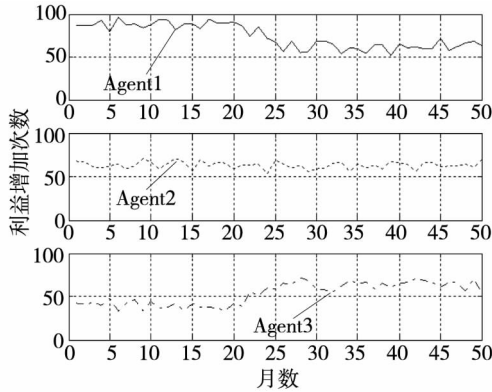


图 2 各利益群体执行利益增加的次数

Fig. 2 The number of executing increasing interest of interest groups

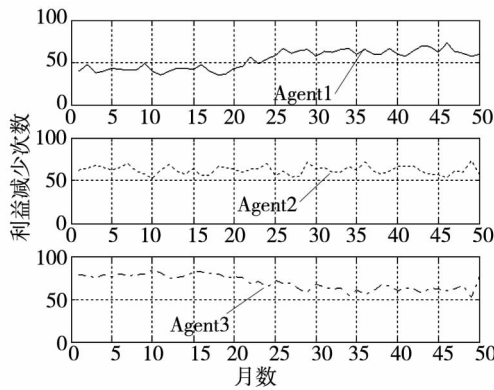


图 3 各利益群体执行利益减少的次数

Fig. 3 The number of executing decreasing interest of interest groups

每个利益群体的收益相对于贡献的实现程度如图 4 所示. 当收益大于贡献时,实现程度大于 1,当收益小于贡献时,实现程度小于 1,其中贡献实现程度由式(4)计算得到. 利益群体的贡献由其投入 Q_i 和评价指标 D 决定,一般情况下不发生变化. 因此,贡献实现程度主要由收益决定. 利益群体的收益与其在利益分配过程中采取的具体分配行为有关,包括执行利益增加/减少的次数和每次的利益变化量两个方面. 图 4 中,考虑恢复因子以前 ($t < 20$),Agent1 的贡献实现程度维持在 1.7 左右,这是由于其执行利益增加的次数大于利益减少的次数,且平均利益增加量大于利益减少量所致. Agent3 的贡献实现程度维持在 0.2 左右,原因与 Agent1 正好相反. 在总收益固定的情况下,某个利益群体收益的增加必然导致其他

利益群体收益的减少,Agent1 的贡献实现程度过高是造成 Agent2 在执行利益增加次数和利益减少次数大致相等的情况下,其贡献实现程度仍小于 1 的原因. 相比 Agent3,Agent2 的利益受损程度较轻. 考虑恢复因子以后 ($t > 20$),各利益群体执行利益增加的次数和利益减少的次数基本相当,且平均利益增加量和利益减少量也大致相等,使得各利益群体的贡献实现程度都维持在 1 左右. 恢复因子的作用是使得不同利益群体的贡献实现程度趋向于 1. 具体的,减弱因子降低贡献实现程度,增强因子提高贡献实现程度.

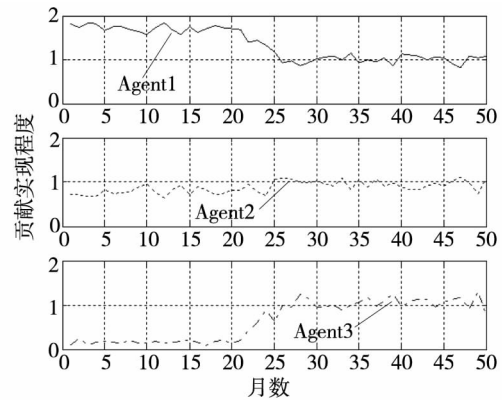


图 4 各利益群体的贡献实现程度

Fig. 4 The realization degree of contribution of interest groups

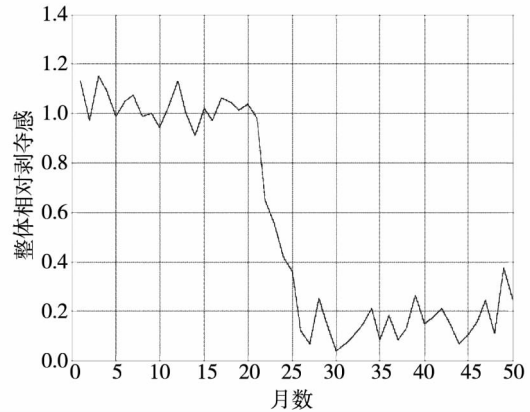


图 5 利益群体的整体相对剥夺感

Fig. 5 The total relative deprivation of interest groups

利益群体的整体相对剥夺感如图 5 所示,社会不公尤其是社会利益分配不公是相对剥夺感产生的主要原因. 因此,可用整体相对剥夺感来衡量分配结果的公平性. 整体相对剥夺感越小,说明分配结果越具有公平性. 考虑恢复因子以前 ($t < 20$),整体相对剥夺感保持在 1 左右,此时利益格局严重失衡. 以 $t = 10$ 时为例,Agent1、

Agent2、Agent3 的贡献分别为 212、185、132, 实际收益分别为 331、178、20, 相应的贡献实现程度分别为 1.56、0.96、0.15。Agent3 与 Agent1 的收益差距很大程度上并非由贡献不同所致, 因此, Agent3 会产生强烈的不公平感和不满, 从而可能引发社会矛盾与冲突, 此时整体相对剥夺感为 0.95, 分配结果缺乏公平性。考虑恢复因子以后 ($t > 20$) 整体相对剥夺感逐渐下降, 最终保持在 0.15 左右, 此时利益格局均衡。以 $t = 35$ 时为例, Agent1、Agent2、Agent3 的贡献分别为 237、208、148, 实际收益分别为 221、216、157, 相应的贡献实现程度分别为 0.93、1.03、1.06。虽然各利益群体的收益存在差距, 但是该差距是由能力、分工不同导致的, 属于合理的差距, 一般不会引起利益群体间的不满, 反而会对利益群体起积极的激励作用。在恢复因子的作用下整体相对剥夺感逐渐下降(减弱因子提高相对剥夺感, 增强因子降低相对剥夺感), 分配结果的公平性得到提高, 利益格局由失衡状态转为均衡状态。

由上述分析知, 对于利益分配不公的情况, 恢复因子能有效地起到恢复作用。在恢复因子的作用下, 利益群体首先在利益增加行为和利益减少行为上达到了平衡, 进而使得各利益群体的贡献实现程度保持在 1 左右, 最后使整体相对剥夺感维持在一个较低的水平, 实现了利益格局从失衡到均衡的恢复。利益群体选择具体利益分配行为的次数由其相应的行为倾向性决定, 而行为倾向性由利益实现能力决定。因此, 恢复因子本质上是对利益实现能力的调节。考虑恢复因子以前 ($t < 20$) Agent1、Agent2、Agent3 的利益实现能力分别为 23、12、5, 存在较大差距。考虑恢复因子以后 ($t > 20$) 各利益实现能力在 9 到 10 之间波动, 差距减小。这里, 利益分配的公平性不是通过简单的调整收益实现的, 而是通过将各利益群体的利益实现能力调整到大体相当的情况下, 借助讨价还价的利益博弈实现的。

2) 分配柔性

在渐进式的转型过程中, 经常伴随着体制的调整, 尤其是经济体制。关于恢复性的仿真实验表明本文模型具有公平性, 为了保证其在渐进式的变动环境下仍具公平性, 该模型还需要有分配柔性。变动环境对利益分配的影响体现在市场、

资源等变化造成利益群体的贡献、利益实现能力等方面发生变化。下面从利益实现能力和分配公平性两方面来探讨分配柔性。

首先, 通过利益群体利益实现能力的变化来显示变动环境对利益分配的影响, 变化的幅度表示影响的程度; 其次, 用标准差描述不同利益实现能力的差距大小, 通过标准差的变化研究利益实现能力的均衡性。现假设初始状态时 Agent1、Agent2、Agent3 的利益实现能力都为 5, 在某一段时间内, 如 $t = 10$, 变动环境 ENV1 对其产生影响, 具体表现为 Agent1 的利益表达能力提高到 15, 为对比不同变动环境的影响, 设定 ENV2 具有更强烈的影响, 表现为 Agent1 的利益表达能力提高到 30。

将不同变动环境下利益实现能力的均衡性演化进行对比, 仿真结果如图 6 所示。相应的利益群体的整体相对剥夺感如图 7 所示。ENV1 下的仿真结果显示, 初始状态各利益实现能力的均衡性为 0, 这是由于 Agent1、Agent2、Agent3 的利益实现能力相同, 且在此情况下利益分配结果具有公平性(整体相对剥夺感保持在 0.2 左右), 恢复因子不起作用。此时若利益实现能力发生变化, 会使该指标增大。 $t = 10$ 时, 变动环境 ENV1 对利益实现能力产生影响, 体现在利益实现能力的均衡性指标数值较大, 导致利益分配结果不公平(整体相对剥夺感超过 1), 接着恢复因子发挥作用, 该指标快速减小, 体现了本文模型对变动环境的快速反应能力。随后该指标一直保持在一个较小但不为零的数值, 一方面说明分配结果比较公平(整体相对剥夺感保持在较低水平), 无需再对利益实现能力进行调整, 另一方面说明利益实现能力的均衡不表示均等, 能实现比较公平的分配即可。

ENV2 下的仿真结果显示出与 ENV1 下类似的过程。 $t = 10$ 时, 相对于 ENV1, 各利益实现能力显示出更加不均衡, 表现在该指标的数值比 ENV1 下的更大; 但随后的适应恢复过程与 ENV1 类似, 利益实现能力和利益格局都快速实现均衡。这说明对于不同的变动环境, 本文模型都能快速反应以实现公平分配, 从而表现出分配柔性。另外, 在 ENV1 和 ENV2 下, Agent1、Agent2、Agent3 的利益实现能力最终分别演化为 6.7、7.5、7.1 和

10.2、9.4、10.4 说明公平的利益分配结果与利益实现能力的均衡性有关,而与具体的利益实现能力大小无关.

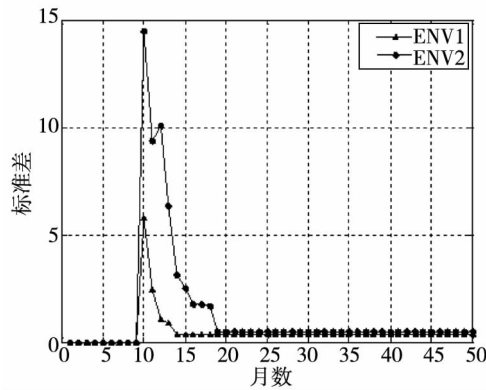


图 6 不同变动环境下利益实现能力均衡性的对比

Fig. 6 The balance comparison of the ability to realize interest in different changing environment

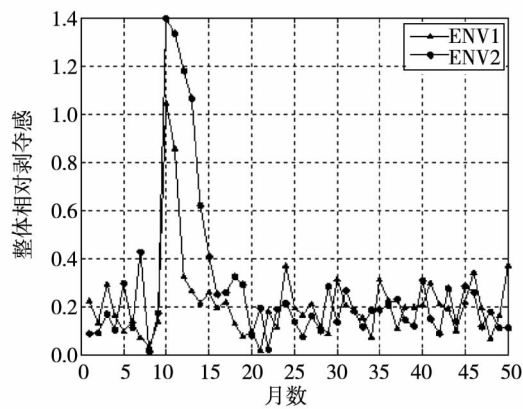


图 7 不同变动环境下整体相对剥夺感的对比

Fig. 7 The comparison of total relative deprivation in different changing environment

5 分析讨论

利益指人们在物质、精神、思想等上的需要和满足,一般可以分为物质利益、精神利益和政治利益,其中物质利益就是经济利益. 首先,在人的诸多利益中,经济利益是基础,当前的社会矛盾主要是围绕经济利益展开. 其次,从分配的视角来看,相对于其他利益,经济利益更容易量化,而且更容易通过讨价还价的方式进行分配. 此外,本文基于贡献、收益及相对剥夺感三个方面对利益进行界定,这三个方面的定义主要是从经济利益的角度出发的. 因此,本文模型更适

合于经济利益的分配. 由于人群社会活动具有复杂性,人们除了经济利益,还有精神利益、政治利益等其他利益. 这些利益相对难以量化,建模比较复杂,将其纳入模型进行探讨,是今后研究的方向.

当前中国频繁发生的群体性事件,大多数是由经济利益分配不公导致的. 由于利益分配不公,导致利益受损群体出现强烈的相对剥夺感,从而产生怨恨和不满. 这种情绪在特定的情况下宣泄爆发,就可能演变成为一种极端行为. 本文将其称之为利益型群体事件. 利益型群体事件的发生机理可以归纳为三个阶段:酝酿期、爆发期和恢复期. 第 4 节关于恢复性的仿真过程能够定量解释其恢复情况. 根据对社会资源的占有程度,可以将社会群体分为强势群体、中间群体和弱势群体三类. 社会资源占有度对利益分配的影响表现在强势群体的利益实现能力最高,其次是中间群体,弱势群体的利益实现能力最低. 仿真过程中 Agent1、Agent2、Agent3 的利益实现能力分别为 23、12、5,则 Agent1 对应强势群体,Agent2 对应中间群体,Agent3 对应弱势群体. 考虑恢复因子以前对应酝酿期,考虑恢复因子以后对应恢复期.

酝酿期:弱势群体由于利益实现能力低,一方面无法影响涉及切身利益的政策制定,导致利益受损;另一方面缺乏体制内利益诉求渠道,导致无法通过谈判、讨价还价等博弈方式维护自身利益. 长期的利益分配不公,导致弱势群体产生强烈的愤怒、怨恨和不满等消极情绪. 对应到仿真过程,此时 Agent3 由于利益实现能力低,在利益分配中长期处于利益受损状态,其贡献实现程度一直维持在 0.2 左右. 与其形成鲜明对比的是 Agent1 的贡献实现程度一直维持在 1.7 左右,导致 Agent3 产生强烈的相对剥夺感. 整体相对剥夺感保持在 1 左右. 利益分配不公. 爆发期:弱势群体正当的利益要求长期得不到解决,进而采取制度外的极端措施来实现自己的利益,此时,基层政府和强势群体处置不当,采取强力打压措施,矛盾激化. 爆发期一般具有时间短、危害大的特点. 恢复期:事件爆发后一般会引起上级政府和社会媒体的广泛关注,在政府和媒体的监督下,弱势群体的利益实现能力暂时得到提高,通过派选代表等方式与强势群体进行公平的利益博弈,进而调整利益分配,

实现社会恢复。对应到仿真过程,在恢复因子作用下,Agent3 的利益实现能力由 5 增加到 8.7,贡献实现程度上升到 1 左右。相应的,Agent1 的利益实现能力由 23 下降到 10.2,贡献实现程度下降到 1 左右。整体相对剥夺感保持在 0.15 左右,利益分配恢复公平。

恢复因子的作用过程能定量解释现实中利益型群体事件的恢复情况,二者的不同在于:现实中的恢复措施是在事件发生并已产生不利影响之后采取的补救行为,属于事后手段,而且对于利益实现能力的协调很大程度上是临时性的;本文模型在事件不发生的情况下,通过恢复临界值的预警判断和恢复因子的调节仍能取得较好的结果,属于事前手段,具有一定的借鉴作用。

由于不同社会群体的利益实现能力不均衡,导致利益分配不公;由于利益受损群体缺乏制度化的利益诉求渠道,导致其采取非法的、体制外的方式维护自身利益,进而造成社会矛盾与冲突。恢复因子从利益实现能力和制度化表达两个方面来缓解社会矛盾与冲突。在面对强大的资本或权力等时,个体诉求尤其是弱势群体的个体诉求,难以在个体层面上实现,一种可持续的途径是通过合法的、有效的形式,将个体诉求整合进群体的利益诉求,以制度化的群体表达或者组织代表的方式来呈现。恢复因子指发展社会群体的自组织能力,培育扶持社会组织(如商会、行业协会等),使不同的社会群体具有对称的利益博弈能力,进而能够在利益场域中进行公平的对话、沟通、协商和谈判。对于利益分配不公的问题,政府干预(如政策法规、税收、社会福利等)是一种自上而下的调控方式,在转型期动态变化的环境下具有缺乏柔性、效率较低、成本较高等局限性。恢复因子是一种自下而上的解决方式,通过培育不同社会群体的利益博弈能力,一定程度上可以实现社会的自我管理、自我调节,同时也能减轻政府负担、降低社会成本。

6 结束语

本文针对当前社会矛盾与冲突,分析了其根源主要是社会群体利益失衡,公平的利益分

配能有效缓解社会矛盾,在社会转型期背景下还要求该分配能够适应变化的环境,进而提出借鉴蚁群的任务分配来实现社会群体的利益分配。蚁群劳动分工不仅高效(蚂蚁个体能有效分配族群任务)而且灵活(在内部扰动和外部挑战下仍然有效),这种任务分配柔性对实现公平灵活的利益分配具有启发性。本文的主要结论归纳如下:

1) 从分配的研究视角界定利益概念,包含贡献、收益和相对剥夺感三个方面。其中,贡献主要由社会群体的投入决定,收益主要受利益实现能力影响,相对剥夺感则通过比较产生。由贡献不同引起的收益差异一般不会引起相对剥夺感,而由利益实现能力导致的收益差异一般会引起相对剥夺感。社会群体通过相对剥夺感评价利益分配结果,利益分配的公平性与整体相对剥夺感负相关。

2) 根据社会群体利益的特点建立定制化的蚁群劳动分工模型,重新设计蚂蚁的属性、任务执行方式和活动环境等模块。通过恢复因子(包括减弱因子和增强因子)协调不同社会群体的利益实现能力,使其在利益分配中的行为倾向性趋于一致,相应的贡献实现程度也趋于一致,旨在降低整体相对剥夺感,提高分配公平性。

3) 仿真结果表明:利益实现能力在利益分配过程中具有主导作用。在恢复因子作用下,利益分配由不公平逐渐转变为公平。具体的,减弱因子降低利益实现能力,从而提高利益减少行为的倾向性,降低利益增加行为的倾向性,使得贡献实现程度降低,相对剥夺感升高;增强因子提高利益实现能力,从而降低利益减少行为的倾向性,提高利益增加行为的倾向性,使得贡献实现程度升高,相对剥夺感降低;最终使得整体相对剥夺感下降,实现公平的利益分配。

4) 仿真结果表明:在不同的变动环境下,本文模型通过恢复因子都能实现公平分配,受不同的变动环境影响并不大,表现出分配柔性,而且展现出快速响应性。恢复因子的作用过程能定量解释现实中利益型群体事件的恢复情况,通过恢复临界值的判断和恢复因子的作用,取得了良好效果。恢复临界值具有预警作用,恢复因子的作用过程对现实中预防或正当处理利益

型群体事件具有一定启发性. 此外, 对于利益分配不公的问题, 恢复因子属于自下而上的解决方式, 可以作为政府自上而下调控方式的一种辅助策略.

参 考 文 献:

- [1] 郑杭生. 改革开放三十年: 社会发展理论和社会转型理论[J]. 中国社会科学, 2009, (2): 10-19.
Zheng Hangsheng. Three decades of reform and opening up: Social development theory and social transformation theory[J]. Social Sciences in China, 2009, (2): 10-19. (in Chinese)
- [2] Huntington S P. Political Order in Changing Societies[M]. Connecticut: Yale University Press, 2006.
- [3] 李汉林, 魏钦恭, 张彦. 社会变迁过程中的结构紧张[J]. 中国社会科学, 2010, (2): 121-143.
Li Hanlin, Wei Qingong, Zhang Yan. Structure strains during the process of social change[J]. Social Sciences in China, 2010, (2): 121-143. (in Chinese)
- [4] 庄锋. 试论社会转型加速期的利益分化与政治整合[J]. 当代世界与社会主义, 2004, (2): 112-114.
Zhuang Feng. Interest differentiation and political integration in a accelerating period of social transformation[J]. Contemporary World & Socialism, 2004, (2): 112-114. (in Chinese)
- [5] 于建嵘. 当前我国群体性事件的主要类型及其基本特征[J]. 中国政法大学学报, 2009, (6): 114-120.
Yu Jianrong. Major types and basic characteristics of group event in today's China[J]. Journal of CUPL, 2009, (6): 114-120. (in Chinese)
- [6] 向玉乔. 社会制度实现分配正义的基本原则及价值维度[J]. 中国社会科学, 2013, (3): 106-124.
Xiang Yuqiao. Basic principle and value dimensions of social system in the realization of distributive justice[J]. Social Sciences in China, 2013, (3): 106-124. (in Chinese)
- [7] 刘燕, 万欣荣. 中国社会转型的表现、特点与缺陷[J]. 社会主义研究, 2011, (4): 5-9.
Liu Yan, Wan Xinrong. The performance, characteristics and defect of China social transformation[J]. Socialism Studies, 2011, (4): 5-9. (in Chinese)
- [8] 肖人彬, 陶振武. 群集智能研究进展[J]. 管理科学学报, 2007, 10(3): 80-96.
Xiao Renbin, Tao Zhenwu. Research progress of swarm intelligence[J]. Journal of Management Sciences in China, 2007, 10(3): 80-96. (in Chinese)
- [9] 丁秋雷, 胡祥培, 姜洋. 基于前景理论的物流配送干扰管理模型研究[J]. 管理科学学报, 2014, 17(11): 1-9.
Ding Qiulei, Hu Xiangpei, Jiang Yang. A model of disruption management based on prospect theory in logistic distribution[J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(11): 1-9. (in Chinese)
- [10] 季小林, 张松, 陈华平. 考虑分时电价的多目标批调度问题蚁群算法求解[J]. 中国管理科学, 2014, 22(12): 56-64.
Li Xiaolin, Zhang Song, Chen Huaping. Solving multi-objective batch scheduling under tou price using ant colony optimization[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(12): 56-64. (in Chinese)
- [11] 祁宁, 汪定伟. 允许不完全拍卖的多轮逆向组合拍卖机制[J]. 管理科学学报, 2013, 16(3): 61-67.
Qi Ning, Wang Dingwei. Multi-round reverse combinatorial auction mechanism allowing incomplete auction[J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(3): 61-67. (in Chinese)
- [12] 张涛, 陈琦, 黄颖雷, 等. 钢铁企业 MTO-MTS 混合合同计划管理模式研究[J]. 管理科学学报, 2013, 16(6): 35-45.
Zhang Tao, Chen Qi, Huang Yinglei, et al. Make to order/make to stock management mode on the order planning problem of steel-iron factories[J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(6): 35-45. (in Chinese)
- [13] Liu Y J, Zhang W G, Zhang P. A multi-period portfolio selection optimization model by using interval analysis[J]. Economic Modelling, 2013, 33: 113-119.
- [14] Zhang X L, Zhang W G, Xiao W L. Multi-period portfolio optimization under possibility measures[J]. Economic Modelling, 2013, 35: 401-408.

- [15]张岐山,陈 华,刘 虹. 灰需求下供应链配送网络优化研究[J]. 中国管理科学,2013,21: 26-30.
Zhang Qishan, Chen Hua, Liu Hong. Supply chain distribution network optimization model and algorithm with grey demand [J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21: 26-30. (in Chinese)
- [16]赵 霞,窦建平. 求解农产品供应链网络设计问题的混合粒子群算法[J]. 管理工程学报,2013,27(4): 169-177.
Zhao Xia, Dou Jianping. Hybrid particle swarm algorithm for solving design problems of agri-food supply chain network [J]. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management, 2013, 27(4): 169-177. (in Chinese)
- [17]Karaboga D, Basturk B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm[J]. Journal of Global Optimization, 2007, 39(3): 459-471.
- [18]Bonabeau E, Theraulaz G, Deneubourg J L. Fixed responded threshold and regulation of division in insect societies [J]. Bulletin of Mathematical Biology, 1998, 60(4): 753-807.
- [19]肖人彬,陶振武. 面向虚拟企业的蚁群劳动分工建模与仿真[J]. 管理科学学报,2009,12(1): 57-69.
Xiao Renbin, Tao Zhenwu. Modeling and simulation of ant colony's labor division for virtual enterprises [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(1): 57-69. (in Chinese)
- [20]肖人彬,易文明,陶振武,等. 面向拉式生产系统的蚁群劳动分工建模及仿真[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(9): 1866-1874.
Xiao Renbin, Yi Wenming, Tao Zhenwu, et al. Modeling and simulation of ant colony's labor division for pull production systems [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(9): 1866-1874. (in Chinese)
- [21]Xiao R B, Chen W M, Chen T G. Modeling of ant colony's labor division for the multi-project scheduling problem and its solution by PSO [J]. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2012, 9(2): 223-232.
- [22]Xiao R B, Yu T Y, Gong X G. Modeling and simulation of ant colony's labor division with constraints for task allocation of resilient supply chains [J]. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 2012, 21(3): 1240014-1-1240014-19.
- [23]据春华,陈庭贵. 基于能力评价与利益驱动的扩展蚁群劳动分工模型及其在动态任务分配中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2014,34(1): 84-93.
Ju Chunhua, Chen Tinggui. Extended labor division model of ant colony based on ability-evaluation and interest-driven and its applications in dynamic task allocations [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2014, 34(1): 84-93. (in Chinese)
- [24]Yang Y, Qiu X S, Meng L M, et al. Task coalition formation and self-adjustment in the wireless sensor networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2014, 27(10): 2241-2254.
- [25]Lope J D, Maravall D, Quiñonez Y. Response threshold models and stochastic learning automata for self-coordination of heterogeneous multi-task distribution in multi-robot systems [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2013, 61(7): 714-720.
- [26]Yasuda T, Kage K, Ohkura K. Response threshold-based task allocation in a reinforcement learning robotic swarm [C]. In: Proceeding of IEEE 7th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA), Hiroshima, Japan, 2014: 189-194.
- [27]Castello E, Yamamoto T, Nakamura Y, et al. Foraging optimization in swarm robotic systems based on an adaptive response threshold model [J]. Advanced Robotics, 2014, 28(20): 1343-1356.
- [28]洪远朋,高 帆. 关于社会利益问题的文献综述 [J]. 社会科学研究,2008,(2): 73-81.
Hong Yuanpeng, Gao Fan. A literature review of social interest problems [J]. Social Science Research, 2008, (2): 73-81. (in Chinese)
- [29]Smith H J, Pettigrew T F, Pippin G M, et al. Relative deprivation: A theoretical and Meta-analytic review [J]. Personality and Social Psychology Review, 2012, 16(3): 203-232.
- [30]Flippen C. Relative deprivation and internal migration in the United States: A comparison of black and white men [J]. AJS: American Journal of Sociology, 2013, 118(5): 1161-1198.
- [31]Pettigrew T F. Samuel stouffer and relative deprivation [J]. Social Psychology Quarterly, 2015, 78(1): 7-24.

- [32] Stark O, Yitzhaki S. Labour migration as a response to relative deprivation [J]. *Journal of Population Economics*, 1988, 1 (1): 57 – 70.
- [33] 李路路. 社会结构阶层化和利益关系市场化——中国社会管理面临的新挑战 [J]. *社会学研究*, 2012, (2): 1 – 19.
Li Lulu. The stratification of social structure and the marketization of interests relation: New challenges facing social management in China [J]. *Sociological Studies*, 2012, (2): 1 – 19. (in Chinese)
- [34] Wright S C, Taylor D M, Moghaddam F M. Responding to membership in a disadvantaged group: From acceptance to collective protest [J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1990, 58(6): 994 – 1003.
- [35] 张书维, 王二平, 周洁. 跨情境下集群行为的动因机制 [J]. *心理学报*, 2012, 44(4): 524 – 545.
Zhang Shuwei, Wang Erping, Zhou Jie. The motivation mechanism of collective action in different contexts [J]. *Acta Psychological Science*, 2012, 44(4): 524 – 545. (in Chinese)
- [36] 张书维, 王二平. 群体性事件集群行为的动员与组织机制 [J]. *心理科学进展*, 2011, 19(12): 1730 – 1740.
Zhang Shuwei, Wang Erping. The motivational and organizational mechanism of collective action in mass incidents [J]. *Advances in Psychological Science*, 2011, 19(12): 1730 – 1740. (in Chinese)

Modeling and simulation of ant colony's labor division for interest allocation of social groups

XIAO Ren-bin, WANG Ying-cong

School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: It is key to establish a fair mechanism of interest allocation to solve the social contradictions and conflicts, which are mainly caused by the imbalances of interests between social groups. Analyzing the flexibility exhibited by ant colony's labor division in task allocation, the paper proposes to achieve interests allocation flexibility by learning from task allocation flexibility. First, the concept of interests is defined from the perspective of allocation, and the formal description is given, where the relative deprivation is introduced to measure the fairness of interests allocation. Second, the basic ant colony's labor division model is extended according to the characteristics of social groups' interests, using the recovery factor to coordinate different social groups, then the ant colony's labor division model for interest allocation is built, and its algorithm implementation process is presented. Third, simulation experiments are performed on a representative example of interests allocation, and the validity of the proposed model is verified from two aspects: The recovery and allocation flexibility. The simulation results show that the capability to realize interests plays a leading role in the interest allocation process; in the case of unfair allocation of interests, the recovery factor is effective for the recovery and shows allocation flexibility in dynamic environments. Finally, the evolutionary process of the interests-based group event is described, where the recovery is quantitatively analyzed and the evolution law of the interests-based group event in reality is expounded.

Key words: ant colony; labor division; flexibility; interest allocation; relative deprivation; recovery factor