arXiv:2305.05549v1 [cs.MA] 9 May 2023

多智能体系统中的社会价值取向与内在情绪

Daniel E. Collins[0000−0002−1075−4063]、Conor Houghton[0000−0001−5017−9473]和 Nirav Ajmeri[0000−0003−3627−097X]

计算机科学系，布里斯托大学，英国布里斯托{daniel.collins,conor.houghton,nirav.ajmeri}@bristol.ac.uk

摘要。 人类的社会行为受到社会偏好个体差异的影响。社会价值取向（SVO）是一种可测量的人格特质，体现了个体在决策时对自身及他人福利的相对重视程度。社会价值取向及其他个体差异变量是预测人类行为和社会结果的重要指标。然而，情绪也会引发人类行为的短暂变化，而这些变化无法仅通过个体差异来捕捉。内在情绪，即对决策情境直接产生反应的情绪，与决策偏好的暂时转变相关。

在本研究中，我们考察了在多智能体社会中，内在情绪调节社会偏好的效果。我们开发了*Svoie*，这是一种用于设计智能体的方法，使其能够依据既定的社会价值取向策略以及针对任务结果的其他内在情绪策略进行决策。我们在资源共享任务环境中开展了仿真实验，并将由*Svoie* 智能体组成的社会与由采用固定社会价值取向策略的智能体组成的社会进行了比较。我们发现，通过内在情绪调整行为的智能体组成的社会，其集体福利与采用固定社会价值取向策略的智能体组成的社会相近，但不同社会价值取向特质的智能体之间的福利不平等显著降低。我们观察到，允许智能体根据任务结果改变策略，可以使智能体调整自身行为，从而实现更高的社会平等。

关键词： 个体差异 · 社会决策 · 仿真。

1 引言

社会价值取向（社会价值取向）是一系列人格特质，用于描述个体在社会偏好上的差异，即智能体做决策时，对自身福利与他人福利的相对重视程度 [33, 34]。社会价值取向涵盖以下类型的智能体：利他主义，即只关心他人；合作主义，即同时关心自己和他人；以及自利主义，即只关心自己。社会价值取向可以在人类身上测量，并被认为会随时间相对稳定。此外，实证研究发现，社会价值取向与社会行为模式密切相关，例如采取合作主义或个人主义行为的倾向 [3, 4]。

社会心理学的开创性研究为社会价值取向如何影响社会互动中的个体偏好提供了清晰的概念模型。研究者已建立起一个稳健的智能体仿真框架——环形模型 [22, 31],，其中定义了社会价值取向特质的效用函数，如今已成为多智能体研究的标准。在社会困境中，理性智能体应当会做出使其个体偏好所对应效用最大化的决策。然而，人类并非理性智能体，也不会总是追求符合其稳定特征的最优结果。实证研究表明，人类非理性决策的模式与情感状态、情绪和心境状态的短暂变化有关；这些变化可能源于即时情境或环境的改变，也可能是较长期的偶然事件或目标的结果，而这些因素会与当前任务相互作用。情绪可能在适应性决策中发挥重要作用：它们会根据对当前决策环境及其中其他人的观察和判断，激发并引导行为。

Lerner等人 [30] 概述了情绪的两大类别：偶发情绪和内在情绪。偶发情绪是与任务无关的情绪，源于对当前决策情境无关的因素，但这些因素仍存在于决策过程中。例如，一个人在工作中的重要会议前收到朋友发来的令人沮丧的信息，那么即使这种不愉快的情绪与任务无关，也可能在会议期间影响他，进而导致冲动决策，或与同事发生不必要的冲突。内在情绪是与任务相关的情绪，直接由当前决策引发，并且已知会对行为产生强烈影响。内在情绪可以是预期的，即对潜在未来事件或某项行动可能结果的感受；也可以是即时的，即对近期事件或某项行动实际结果的感受。我们关注的是后者，例如，考试表现出色后产生满足感这一即时内在情绪，以及选择花时间帮助他人学习。

内在情绪的“受伤的自尊”模型 [51]指出，智能体可能会因不公平结果而产生负面情绪，并采取恶意行为，即使它们知道这会使自己在该特定任务中得到更差的结果 [40]。这说明，内在情绪可能引发仅凭个体差异无法解释的行为。根据“受伤的自尊”模型，基于内在情绪调整策略的智能体，可能比仅依据社会价值取向采取行动的智能体表现更好，因为某些社会价值取向策略在特定任务上的表现可能不如其他策略。在这项研究中，我们通过在社会价值取向存在个体差异的多智能体社会中对内在情绪进行建模，考察了依据内在情绪改变社会偏好能否带来有益于社会的效果。

贡献。我们开发了*Svoie*，这是一种设计智能体的方法，使其能够基于社会价值取向和内在情绪进行决策。我们的*Svoie* 智能体将成熟的社会价值取向决策策略与一种简单机制相结合，使其能够根据内在情绪暂时采用其他策略。我们定义了两种基于社会偏好的替代策略，分别代表正面和负面情绪，并分别将收益不平等降至最低或提高至最高。这些策略融入了恶意人类决策的 woundedpride 模型，以及一个理想化的正面整体情绪对照模型

模型。我们将内在情绪建模为一种内部状态，它会根据近期决策的结果而变化，并决定智能体在下一次决策中采用基于情绪的策略的概率。

研究结果。 为了评估*Svoie*，我们使用一种变体的 Colored Trails 游戏 [16, 18], 开展了仿真实验；这是一种旨在研究社会决策的资源共享任务环境。我们构建了由具有异质社会价值取向的智能体组成的社会，并模拟了社会中随机配对的智能体之间的一系列游戏。我们比较*Svoie* 社会与*Stable-SVO* 社会中智能体累积收益的分布，并从集体福利（衡量社会中所有智能体总收益的指标）和福利不平等（衡量智能体之间收益差异的指标）两个方面评估社会结果。

我们通过允许智能体根据其实现目标成功或失败的频率来调整社会偏好，考察了*Svoie* 社会的福利不平等是否会低于*Stable-SVO* 社会。我们发现，在包含一种以上社会价值取向的社会中，*Svoie* 智能体所在社会的福利不平等显著低于*Stable-SVO* 智能体所在社会，但集体福利略有下降。

组织结构。第 2 节介绍理解我们贡献所需的预备知识。第 3 节介绍我们对智能体中的社会价值取向和内在情绪进行建模的方法。第 4 节介绍实验设置和结果。第 6 节以对未来方向的讨论作结。

2 预备知识与相关工作

现在，我们将介绍理解本文贡献所必需的预备知识。

2.1 社会价值取向

社会价值取向（SVO）模型描述了取向类型的连续谱，反映了决策过程中社会偏好的性质 [33, 34]。社会价值取向用于基于智能体的仿真，以定义智能体决策策略。社会价值取向策略通常采用社会价值取向环形模型 [31] 实现。在该模型中，社会价值取向效用函数可以由单位圆上的任意一点定义，其中，对自身和他人奖励的偏好程度分别映射到 x 轴和 y 轴。例如，该连续谱包括：

利他主义 无论自身福利如何，都倾向于采取行动增进他人福利。

合作主义 倾向于与他人合作，以增加自己以及他人的福利。

自利主义 倾向于采取增加自身福利的行动，而不考虑他人的福利。

这三种社会价值取向涵盖了环形模型的第一象限，在该象限中，社会价值取向效用函数仅考虑对自身、他人或双方的正向偏好奖励。社会价值取向特质的完整范围还包括负向偏好，例如，

竞争型智能体倾向于增加自身奖励，同时降低其他智能体的奖励。不同的社会价值取向决策策略定义明确，并且在模拟的社会任务环境中表现出可预测的差异 [22]。社会价值取向策略的相对表现取决于任务的性质。

社会偏好已在开发用于网络安全等各种现实领域应用的自主智能体的背景下得到研究 [26], ，社会价值取向（SVO）也已被用于仿真自主车辆决策中的社会行为[7, 12, 42]。结合社会价值取向的多智能体仿真已与实验数据相结合，以更好地理解个体差异如何影响认知和行为，从而造福社会，例如通过社会合作 [2] 以及适应环境变化 [46],。此外，社会价值取向还被用于规范性多智能体系统的仿真，以理解亲社会行为和合作行为的涌现过程[45]。相关研究还探讨了其他个体差异变量的基于智能体的建模，例如迈尔斯-布里格斯人格类型 [6]。本研究旨在通过基于智能体的仿真，更深入地理解情绪与社会偏好之间的关系。

2.2 内在情绪

内在情绪描述与任务相关的情绪，这些情绪直接受到当前决策过程的影响。例如，个体可能会因是否达成某项任务目标而体验到积极或消极的内在情绪 [51]。

心理学领域的开创性研究通过使用最后通牒博弈 [19]进行的实证研究，揭示了内在情绪对人类行为的影响。两个智能体 Alice 和 Bob 之间的最后通牒博弈可以描述如下：Alice 和 Bob 分别待在不同的房间里。Alice 得知 Bob 获得了一笔钱，并被要求与 Alice 分享其中一部分。Bob 可以自行决定向 Alice 报价多少。Alice 可以接受或拒绝这份报价。如果 Alice 拒绝，那么 Alice 和 Bob 都拿不到这笔钱，因此 Bob 的报价就是最后通牒。

关于最后通牒博弈的早期研究有一项关键发现：尽管拒绝小额金钱会让自己落得更差的结果——也就是拒绝“白得的钱”——人们仍常常会这样做。这一发现已在大量研究中得到重复验证 [50]。这可以被视为一种经过盘算的恶意行为，例如付出代价以伤害他人。恶意之类的情绪反应，可以放在社会规范的背景下考察；社会规范是社会中对特定行为普遍存在的预期。恶意行为是指为了惩罚被认为做错事的人而付出代价，这类行为可能是有助于适应的行为：当合作规范遭到违反时，通过施加惩罚来执行制裁，从而鼓励合作规范 [39]。这一观点可以扩展到任何与个人对社会中他人应如何行事的预期有关的规范，无论他人实际上如何行事。如果某人对某项特定规范抱有强烈预期，那么当该规范遭到违反时，他们可能会产生负面情绪，并以恶意行为作出回应。这类行为在在线社区中很常见，例如网站 Stack Overflow 上的评论行为 [9]。

将情绪视为规范执行机制的观点，因最后通牒博弈实验中的观察结果而变得复杂：这些观察表明，即使不存在任何被认为是社会不公的情形，也没有可受惩罚的施害者，恶意行为仍可能出现；而一旦被触发，恶意行为可能持续下去，随后还会任意转向他人。Straub and Murnigham [43] 通过改变最后通牒博弈的设置发现，即使参与者不知道报价所出自的总金额，有时也会拒绝小额报价，这说明拒绝并非源于参与者之间的社会不平等感。此外，他们发现，即使参与者不知道这笔钱是由另一名参与者分配的，他们拒绝小额报价的可能性也同样高。他们假设，小额报价之所以遭到拒绝，是因为它们引发了受伤的自尊——这是对不理想结果的直接情绪反应。Pillutla 等人 [40] 通过不同参与者配对进行一系列最后通牒博弈实验，发现那些出于恶意拒绝小额报价的参与者，在后续与新参与者进行的博弈中更可能采取恶意行动。在最后通牒博弈中，收到不理想报价的个体可能仍会试图报复，即使他们无法让不公平报价的提议者蒙受损失；这表明恶意行为是一种情绪宣泄，或是内化情绪的表达 [49]。这种情绪可能因规范违反而产生，但由此引发的行为未必是为了执行同一规范而经过盘算的举动。近期，Criado 等人 [11] 探讨了情绪作为规范遵循型决策动因的作用，以推动自主智能体按照人类规范行事。

这些研究描述了一种受伤的自尊模型：不理想的任务结果可能引发强烈的负面情绪反应，并通过随后出现的非合作行为表现出来。如果智能体认为某个结果对自己不公平且过于不利，或违背了其对自我价值的预期，就会产生受伤的自尊和愤怒，这些情绪会影响其后续行为，即使这些行为无法纠正其所感知到的不公。换言之，当个体因结果不尽如人意而产生负面情绪，却无法直接向其所认为的加害者表达这些情绪时，仍会通过做出次优决策来进行报复，使他人蒙受损失，同时自己也付出一定代价。这一机制或许有助于保护利他型智能体，避免其一再被自利型智能体占便宜。反过来，我们也可以设想一种与受伤的自尊相反的机制：当个体取得不成比例的成功时，可能会产生积极情绪，进而促使智能体暂时放宽对高收益的偏好，表现得更加慷慨。这与社会心理学关于积极情绪所引发行为变化的观点相符 [21, 47]。

在人类研究中，监测内在情绪的一种常见方法是通过自我报告来评估情绪效价，即某一特定时刻积极感受或消极感受的程度。这一方法源自情绪评价理论 [36],，该理论认为，人类情绪是内部现象，通过对外部事件和刺激进行评估而形成，例如，评估事件结果是否符合个人目标或规范预期。自主智能体研究已使用效价来定义与情绪相关的内部状态，例如，用它来定义内在】【。

用于引导强化学习智能体 [20],行为的奖励，以及基于心理学理论的综合决策架构的组成部分 [13]。这些相关研究通常会运用评价理论的其他组成部分，例如唤醒和动机。为简化起见，我们将聚焦于与任务结果相关的内在情绪效价。此前也有人采用类似方法研究情绪与行为规范之间的关系 [35]。

2.3 社会任务环境

对博弈环境中智能体行为的仿真，可以直接与人类在相同或相似任务上的决策数据进行比较，也可以作为复杂现实世界社会决策情境的抽象。在随机博弈中，博弈设置参数和参与博弈的智能体会发生随机变化，从而产生各种不同的涌现情境。复杂程度各异的一系列随机博弈已被用于近似复杂的现实世界任务环境，以研究情绪和社会因素对行为的影响，既用于人类实证研究，也用于智能体仿真 [8, 12]。大量研究使用随机博弈探讨社会价值取向与社会行为之间的关系 [3]。随机博弈也被用于研究情绪如何影响行为。Bono 等人 [5] 使用一种随机资源分配博弈，研究情绪如何在人类决策中调节社会价值取向偏好。

彩色路径（CT） [16, 18] 是一种旨在研究决策中社会因素的研究测试平台。在 CT 中，智能体会进行协商 [27] 并交换资源，以实现各自的目标。CT 可以从以下任务设置的一般要素来描述：

– 智能体都有各自试图实现的目标。– 智能体都有可用于实现其各自目标的资源。– 智能体实现目标后会获得奖励。– 智能体的个人情况可能各不相同，因此，与同伴相比，它们可能需要不同的资源来实现目标。– 智能体可能没有足够的资源来实现目标，也可能拥有过剩的资源。– 智能体可以通过协商交换资源，以促进彼此实现目标。

CT 是一种高度灵活且富有表现力的随机博弈，具有多种可修改的参数，可用于定制任务环境。我们选择采用 CT 作为评估智能体社会的环境，因为它具有清晰的任务设置，且博弈设置中的随机元素使智能体能够在一系列博弈中遇到不同的社会任务 [23]。

3 方法

下面详细介绍我们对 CT 游戏环境、智能体决策策略和智能体模型的实现。

3.1 仿真环境

我们实现了 CT 的简化版本，将其作为仿真环境，用于研究*Svoie* 和*Stable-SVO* 智能体社会。CT 游戏由两个智能体进行，包含两个独立回合。每个游戏回合开始时，都会生成一个新的游戏棋盘：一个由彩色方格组成的 4×4网格，其中每个方格都会被随机赋予四种可能颜色（红、蓝、绿、黄）之一。随后，每个智能体都会被放置在游戏棋盘上各自随机选定的起始位置。接着，系统会在游戏棋盘上随机指定一个目标位置，该位置与任一智能体的起始位置都不垂直或水平相邻。每回合开始时，系统会为每个智能体分配资源——一组由四枚随机颜色的彩色筹码组成，智能体可以放置这些筹码，移动到棋盘上与筹码颜色相匹配的相邻位置。游戏的目标是利用分配到的资源，从起始位置尽可能接近目标位置。我们假设智能体可以获取有关游戏状态的完整信息，例如游戏棋盘、智能体位置、目标位置以及两个智能体各自拥有的资源。

每轮一次，智能体可以协商并交换部分或全部资源，以帮助彼此达成目标。在协商过程中，一个智能体担任提议者 ，另一个担任响应者。提议者 向响应者发送一份提案，其中包括一项报价、其愿意从自己的库存中送出的筹码，以及一项请求，即其希望从对手库存中获得的筹码。随后，响应者 可以接受提案并启动拟议的交换，也可以拒绝提案；这意味着双方不会进行交换，并保留各自最初分配到的资源。之后，智能体可以使用资源尽可能接近目标位置，并在回合结束时获得得分， S:

$$S = n + 1.5u(1 + g) \tag{1}$$

其中， n 是智能体库存中剩余的未使用筹码数量， u 是用于创建路径的瓦片筹码数量， g 则根据智能体是否到达目标位置分别等于 0 或 1。此评分函数取自 [24], ，旨在优先采用目标达成策略，而非通过收集瓦片或创建通往任意位置的长路径来最大化得分的策略。智能体在游戏的两轮中交换协商角色，因此每个智能体都会有一轮担任提议者 ，另一轮担任 响应者。

通过每轮游戏只允许一次报价和响应，CT 成为了第 2 节所讨论的传统最后通牒博弈的一种更具表现力的形式。在这里，响应者 只能在两种可能的结果之间进行选择：由提议者发送的最后通牒报价，或由游戏设置的随机化参数决定的无交换结果。个体情况和个体目标的随机变化通过游戏棋盘设置、资源分配、起始位置和目标位置的随机变化编码在 CT 中。

图 1 展示了一种可能的 CT 设置示意图，说明智能体如何通过合作获得更高的奖励。

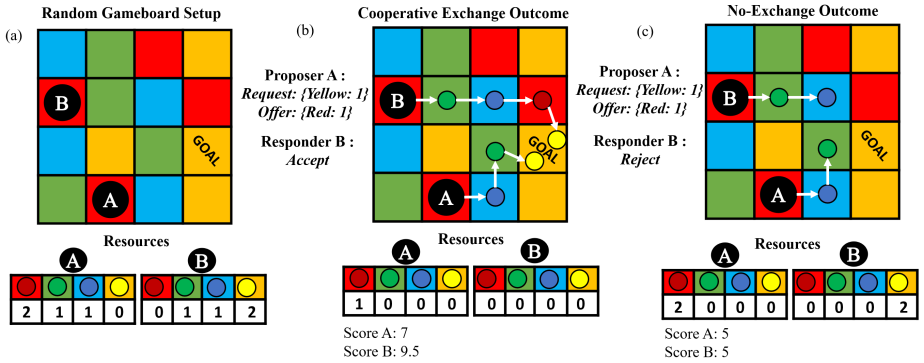


图 1：智能体 A 和 B 之间一轮 CT 的示意图。(a) 游戏开始时生成随机游戏棋盘设置参数：彩色方格、智能体位置、目标位置和分配的资源。在 CT 中，资源是彩色筹码，智能体可以用它们移动到相邻的同色方格。在图示设置中，两个智能体都无法仅凭初始资源到达目标。(b) 展示了一种可能的游戏结果：B 同意了 A 提出的互利交换提案；A 给 B 一个红色筹码，B 给 A 一个黄色筹码。随后，智能体使用资源到达目标，并根据公式 1 获得得分。(c) 另一种情况是未进行交换：B 选择拒绝 A 的提案，智能体必须利用初始资源尽可能接近目标。在此情况下，两个智能体的得分都较低。

3.2 社会偏好的效用函数

为了设计 CT 环境中的智能体决策协议，我们将社会偏好和可能采取的行动映射为定量效用函数。在每种情况下，智能体都会感知其环境，并利用可用信息选择行动。智能体会选择预期能够最大化其社会偏好所对应效用的行动；该效用取决于预期由行动产生的游戏得分，并使用公式 1 中的评分函数计算。智能体使用效用函数的方式取决于它扮演的是提议者 还是响应者。

设 x 为任意交换结果，例如交换后每个智能体所拥有的资源。假设智能体总会以最优方式使用其筹码以获得尽可能高的得分，那么对于给定的游戏设置，每个交换结果 x 都会直接对应于 提议者 和 响应者各自的一对得分 $S - P(x)$ 和 $S - R(x)$。因此，我们可以用 x 来定义效用函数。

作为提议者 的智能体会将选定的效用函数作为排序标准来选择提案。提议者 会计算所有可能的交换结果集合中的每一种交换结果的效用，x，X，然后选择效用最高的结果，并发送相应的提案；若响应者接受该提案，就会产生这一结果。响应者 只有在提案满足基于效用的接受标准、相对于不交换结果 $\bar{x}$而言能使效用最大化时，才会接受该提案；不交换结果指未发生交换时每个智能体随机持有的资源集合。此处，不交换结果的预期得分 $\bar{x}$可表示为 $S - P(\bar{x})$和 $S - R(\bar{x})$。

只有当提议交换的效用高于响应者不交换结果的效用时，提案才会被接受。

概述了基于不同社会偏好的 CT [15, 17] 社会导向决策协议效用函数。我们调整了这些效用函数，以描述我们实现 CT 时采用的智能体协议：

个体收益 效用为提议者得分

$$U - r(x) = S - R(x) \tag{2}$$

或响应者得分。

$$U - p(x) = S - P(x) \tag{3}$$

总体收益 效用为合作得分，即提议者得分与响应者得分之和。

$$U - c(x) = S - P(x) + S - R(x) \tag{4}$$

结果公平性（结果优势）效用为响应者所获得的优势。

$$U - a(x) = S - R(x) - S - P(x) \tag{5}$$

交易公平性（交易优势）效用为响应者相对于拒绝所获得的优势。

$$U - f(x, \bar{x}) = (S - R(x) - S - R(\bar{x})) - (S - P(x) - S - P(\bar{x})) \tag{6}$$

需要注意的是，这些函数是从响应者 的视角进行定义的，因此当某一行动使响应者受益时，函数值为正。当提议者使用这些函数时，下标*P* 和*R* 会互换。

3.3 智能体决策策略

本节将第3.2节中概述的基于社会偏好的效用函数进行调整，以构建分别对应利他主义、自利主义和合作主义社会价值取向，以及正面和负面整体情绪的决策策略。我们利用这些策略开发基线*Stable-SVO* 智能体；这类智能体始终依据固定的社会价值取向策略做出决策。与此同时，*Svoie* 智能体默认依据基于社会价值取向的策略行事，但在CT中会根据博弈结果，暂时采用基于内在情绪的策略。

社会价值取向策略。 基线*Stable-SVO* 智能体的构建方式是：每个智能体具有三种可能的社会价值取向特质之一：自利主义、利他主义或合作主义。每种社会价值取向都描述了一种固定的决策策略，其效用函数反映了对社会结果的偏好。

自利主义 自利主义智能体会采取使自身收益最大化的行动。– 提案
排序标准：

$$\textit{maximise}\, U - p(x) \tag{7}$$

– 回应接受标准：

$$\textit{accept trade if and only if}: \; U - p(x) > U - p(\bar{x}) \tag{8}$$

合作主义合作型智能体采取能够最大化共同收益的行动。– 提案排序标准：

$$\textit{maximise}\, U - c(x) \tag{9}$$

– 回应接受标准：

$$\textit{accept trade if and only if}: \; U - c(x) > U - c(\bar{x}) \tag{10}$$

利他主义 利他型智能体采取使他人收益最大化的行动。– 提案排序标准：

$$\textit{maximise}\, U - r(x) \tag{11}$$

– 回应接受标准：

$$\textit{accept trade if and only if}: \; U - r(x) > U - r(\bar{x}) \tag{12}$$

内在情绪策略。 我们设计了两种内在情绪策略，以捕捉由正面或负面内在情绪引起的社会偏好的暂时变化。在此，内在情绪策略描述了未被*Stable-SVO* 策略所涵盖的社会结果偏好。负面情绪策略竞争性公平厌恶旨在通过使智能体与其对手之间产生最大差距，从而获得更高的得分（“结果优势”或“不公平”提案）。相反，正面情绪策略不公平厌恶旨在使最终得分之间的差距最小化。这些策略不同于社会价值取向策略，因为它们不考虑游戏得分最大化。

正面整体情绪（不公平厌恶）。 具有正面整体情绪效价的智能体会采取“公平”的行动，使自身与他人之间的收益差异最小化。

– 提案排序标准：

$$\textit{minimise}\, 1/(1 + |U - a(x)|) \tag{13}$$

– 回应接受标准：

$$\textit{accept trade if and only if}: \; U - f(x, \bar{x}) < 0 \tag{14}$$

负面整体情绪（竞争性公平厌恶）。具有负面整体情绪效价的智能体会采取“不公平”的行动，使自身与他人之间的收益差异最大化，并且自身获得的收益高于他人。

– 提案排序标准：

$$\textit{maximise}: \; 1/(1 + |U - a(x)|) \tag{15}$$

– 回应接受标准：

$$\textit{accept trade if and only if}: \; U - f(x, \bar{x}) > 0 \tag{16}$$

Svoie 的内部情绪状态*Svoie*。 我们采用了适用于利他主义、合作主义和自利主义社会价值取向的标准决策协议，构建基准 *Stable-SVO* 智能体。这些智能体始终会做出符合其社会价值取向的决策。随后，我们为 *Stable-SVO* 智能体引入内在情绪组件，构建出 *Svoie* 智能体——一种具有社会价值取向以及正面和负面内在情绪策略的智能体。我们设计 *Svoie* 智能体，使正面内在情绪与在一轮 CT 中达成目标相关联，负面情绪则与未能达成目标相关联。为了在 *Svoie* 中编码内在情绪，我们定义一个内部状态 $E \in \{-1, -0.5, 0, 0.5, 1\}$，表示智能体当前的效价，例如其内在情绪的正面或负面程度。这一内部状态会根据每轮游戏结束时是否达成目标而更新。为简单起见，我们允许 E 取 –1 到 1 之间的五种离散状态之一，不过也可以采用更高的粒度或连续值实现。

在 CT 博弈中，目标达成会使 E 阶跃式上升，反之，目标未达成则会使其阶跃式下降。我们使用 E 来定义智能体选择基于内在情绪的策略的概率。$E = 0$ 表示中性情绪状态，此时智能体始终默认采用其基线社会价值取向决策策略。当 $E = 0.5$ 或 $E = -0.5$ 时，智能体分别有 50% 的概率选择正面或负面情绪策略；当 $E = 1$ 或 $E = -1$ 时，智能体则始终选择相应的情绪策略。这样一来，在多次重复互动中，智能体可以表现出不同程度的基于情绪的行为，具体取决于其决策策略导致目标达成或未达成的频率。状态 E 旨在体现情绪的“评价理论” [36]。该理论认为，人类情绪是内在现象，通过对外部事件和刺激进行评价而形成，例如，评估事件结果是否符合个人目标或预期。

4 实验与结果

我们使用 CT（第3.1节）作为任务环境进行了仿真实验。我们在四种不同的智能体社会中重复实验，这些社会根据具有不同社会价值取向特质的智能体所占比例定义：

利他-合作 由数量相等的利他主义智能体和合作主义智能体组成的社会利他-自利 由数量相等的利他主义智能体和自利主义智能体组成的社会合作-自利 由数量相等的合作主义智能体和自利主义智能体组成的社会混合 由利他主义、合作主义和自利主义智能体组成的社会

每次仿真运行 1,000 个时间步。在每个时间步，社会中的每个智能体都会随机与另一个智能体配对，每对智能体进行两轮 CT，并获得一个得分。我们比较了*Svoie* 智能体社会与*Stable-SVO* 社会的仿真。

Stable-SVO 智能体遵循与其社会价值取向相关的固定决策规则。***Svoie*** 智能体最初的行为与*Stable-SVO* 智能体相同，也具有社会价值取向特质，但可能根据博弈结果偏离其稳定的社会价值取向特质。

我们在第4.1节中定义了用于评估*Svoie* 中引入的内在情绪机制是否会对仿真结束时的社会结果产生积极影响的指标和假设。

4.1 评估指标与假设

我们定义并计算个体福利、集体福利和福利不平等，以评估仿真的*Svoie* 和 *Stable-SVO* 智能体社会。

福利衡量智能体最大化自身得分的成效。我们使用单个智能体或一组智能体所取得的平均得分来评估福利。
不平等衡量智能体社会成员之间结果的不平等程度。我们使用变异系数（CoV）指标[32]评估各分布的不平等程度。其他研究使用基尼系数来衡量不平等，而我们选择 CoV 是因为它简单易用，而且在初步运行中观察到，个体指标的分布近似正态分布。

1. 个体福利仿真运行中，单个智能体在所有时间步取得的平均得分。2. 集体福利一组智能体的平均得分。3. 福利不平等一组智能体的个体福利分布的 CoV。该指标的数值越小，社会越平等。

我们评估了两个假设，这两个假设对应于模拟智能体社会的评估指标。

H1 *Svoie* 在社会中的所有智能体之间带来比*Stable-SVO* 更高的集体福利。**H2** *Svoie* 在社会中的所有智能体之间带来比*Stable-SVO* 更低的福利不平等。

4.2 仿真设置

我们对每个多智能体社会中的随机智能体配对进行了一系列 CT 博弈，具体描述见第3.1节。在每个时间步，所有智能体都会被随机配对，每对智能体进行两轮 CT 博弈。每次仿真运行 1,000 个时间步，种群规模为 300，以考虑每个时间步中博弈设置和智能体配对的随机变化。对于每一轮博弈，我们都会记录每个智能体获得的得分。每次仿真结束时，我们计算第4.1节中列出的指标。对于 *Svoie* 智能体，我们将内在情绪初始化为 $E = 0$，以便所有智能体从一开始就采用与其社会价值取向特质相关联的策略。

我们报告每种仿真重复三次后的平均结果。我们检验了完整社会以及具有特定社会价值取向特质的智能体样本中，*Svoie* 与*Stable-SVO*在评估指标上的显著差异。我们采用双样本t检验，并报告均值 μ和p值 p；效应量以Cohen's d [10]衡量。

5 结果

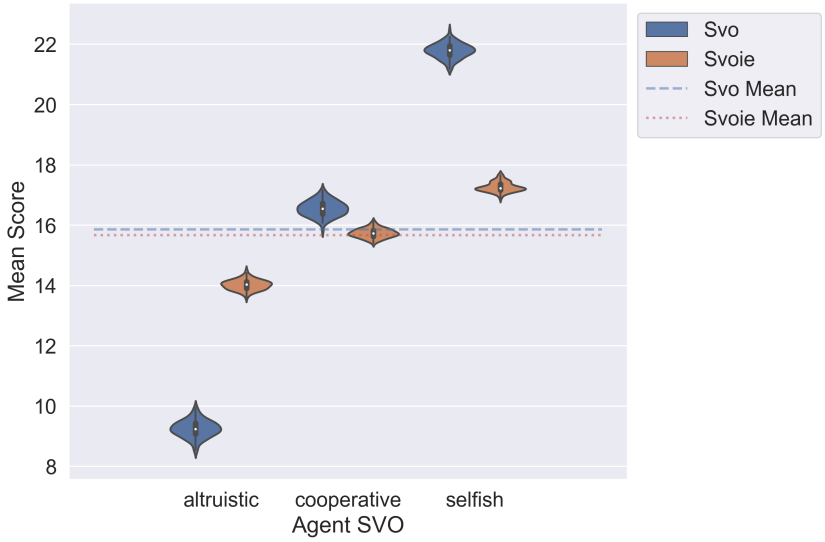
为检验关于集体福利的假设H1和关于福利不平等的假设H2，我们比较了第4.1节所述四种社会中的*Svoie* 与*Stable-SVO*： 利他-合作、利他-自利、合作-自利 和混合。

表1比较了*Svoie* 和*Stable-SVO* 智能体社会的群体指标：（1）社会中所有智能体以及具有相同社会价值取向的智能体样本所取得的平均得分，用作衡量这些群体实现的集体福利；（2）各组个体智能体平均福利分布的变异系数（CoV），用作衡量福利不平等。所有结果均根据三次重复运行计算得出。

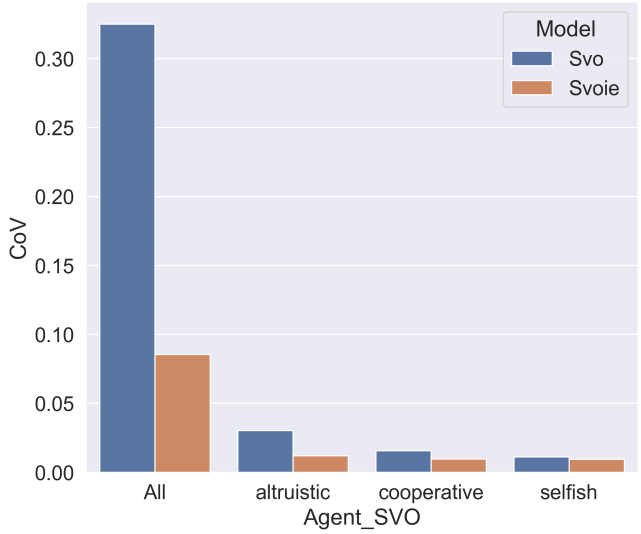
表1：比较不同社会价值取向的智能体社会样本的平均得分和变异系数。

配置			*Stable-SVO*			*Svoie*		
社会	样本SVO规模		平均得分	Std	CoV	平均得分	Std	CoV
利他合作	all	300	16.299	2.435	0.149	15.754	0.807	0.051
	altr	150	13.877	0.206	0.015	14.966	0.169	0.011
	coop	150	18.720	0.221	0.012	16.541	0.177	0.011
利他型自我	all	300	15.257	7.358	0.481	15.456	1.676	0.108
	altr	150	7.917	0.279	0.035	13.791	0.153	0.011
	self	150	22.597	0.271	0.012	17.121	0.181	0.011
合作自我	all	300	16.299	1.758	0.108	15.816	0.690	0.044
	coop	150	14.558	0.226	0.015	15.147	0.157	0.010
	self	150	18.040	0.219	0.012	16.486	0.169	0.010
混合	all	300	15.863	5.149	0.324	15.664	1.332	0.085
	altr	100	9.269	0.271	0.029	14.016	0.170	0.012
	coop	100	16.527	0.243	0.015	15.731	0.160	0.010
	self	100	21.792	0.267	0.012	17.244	0.179	0.010

我们的结果表明，在*Svoie* 中偏离稳定的社会价值取向特质对集体福利的影响极小。我们发现，在混合社会中，*Svoie* (μ = 15.664)与*Stable-SVO* (μ = 15.863)之间的集体福利没有显著差异（p=0.5436， d=0.0497）；在利他型—自利型社会中，*Svoie* (μ = 15.456)与*Stable-SVO*(μ =15.257)之间也没有显著差异（p=0.6739， d=0.034）。然而，在利他型—合作型社会中，*Svoie* 的集体福利较低：*Svoie* (μ = 15.754)，*Stable-SVO* (μ =16.299)（p<0.001，d=0.305）；在合作型—自利型社会中也是如此：*Svoie* (μ=15.816)，*Stable-SVO* (μ =16.299)（p<0.001， d=0.371），但效应量较小。因此，研究发现，*Svoie* 智能体组成的社会，其智能体在达成目标时更可能寻求公平或“厌恶不公平”的行动，而未能达成目标时更可能寻求不公平的“竞争性公平厌恶”行动；这些社会的表现大致与只依据自身社会价值取向采取行动的智能体组成的社会相当。



(a) 平均福利。



(b) 不平等。

图 2：比较由利他主义、合作主义和自利主义智能体等量混合组成的社会中，*Stable-SVO* 与 *Svoie* 的福利和不平等。

我们发现，对于所有社会，与*Stable-SVO*相比，*Svoie* 智能体显著降低了福利不平等，且效应量较大：（利他型—合作型：*Stable-SVO* μ =16.299，*Svoie* μ = 15.754，p<0.001 *d*=84.106）；（利他型—自利型：*Stable-SVO* μ = 15.257，*Svoie* μ = 15.456，p<0.001，*d*=39.543）；（自利型—合作型：*Stable-SVO* μ = 16.299，*Svoie*

$\mu = 15.816$, $p<0.001$, d=73.007), (*Stable-SVO* μ 15.863, *Svoie* $\mu = 15.664$, $p<0.001$,d=32.384)。图2a (a) 展示了混合社会模拟中智能体样本的个体福利（平均得分）分布。我们可以看到，对于具有特定社会价值取向特质的每个智能体样本，其得分分布在*Stable-SVO* 仿真中相距更远，而在*Svoie* 仿真中则更为接近，但其表现排序并未改变。例如，我们观察到，利他主义的*Svoie* 智能体表现优于利他主义的*Stable-SVO* 智能体，因为它们在遭到占便宜后可能会采取不公平策略；而自利主义的*Svoie*智能体表现不如自利主义的*Stable-SVO*智能体，因为它们在占别人便宜后可能会采取公平策略。此外，在*Svoie* 仿真中，每种社会价值取向的平均得分分布宽度都减小了，因此，与*Stable-SVO* 社会相比，单个社会价值取向特质样本内部的福利不平等也有所降低。表1所示的数据体现了这一点，其中包含不同社会价值取向的智能体样本所取得的平均得分，以及这些样本中智能体得分分布的变异系数。

6 局限性、方向与结论

我们现在讨论局限性和未来方向。首先，我们通过生成智能体群体来模拟具有异质性社会价值取向的社会，这些智能体群体中的个体可以具有两种或三种不同的社会价值取向特质之一，分别是利他主义、自利主义和合作主义。在人类社会中，如环形模型所述，个体之间的社会价值取向呈连续变化 [31]。此外，我们假设社会中的社会价值取向特质均等分布，而在人类社会中，某些范围的社会价值取向比其他范围更为常见。Buckman等人 [7] 通过根据有关社会价值取向普遍程度的相关实验数据，从环形模型中抽取在人类社会中最常见范围内的智能体特质，对智能体社会中的社会价值取向进行了更贴近现实的处理。我们并未尝试模拟真实的人类社会，而是侧重于将内在情绪与社会价值取向结合建模，以探究这对具有不同社会价值取向策略的智能体社会中的社会福利和福利不平等会产生何种影响。在我们的基线仿真中，所采用的三种社会价值取向策略产生了不同且互不重叠的福利分布，因此我们认为它们适合本研究的目的。

其次，我们将内在情绪建模为变量状态 E，并采用若干简化假设，因此无法将其与真实人类行为中的内在情绪直接比较。我们仅纳入两种基于情绪的策略，分别对应积极和消极的 E。这些策略基于以往与积极和消极情绪相关联的人类行为，但并未遵循任何明确的模型。此外，我们假设只有一种环境触发因素——目标达成或未达成——会影响情绪，而证据表明其他因素也会影响情绪，例如结果公平性 [40, 43], ，这类因素可应用于 CT环境。我们还仅允许 E 在五种可能状态之间变化，并将 E 的变化幅度设为恒定且任意选取，因此无法体现智能体对情绪刺激敏感度的差异。我们将*Svoie*智能体实现为智能体社会中社会价值取向和内在情绪的粗粒度模型，并未试图准确模拟人类行为。在此背景下，我们发现，社会价值取向（Svoie）智能体组成的社会.....

由*Svoie* 智能体组成的社会，其福利不平等程度低于基线*Stable-SVO*智能体组成的社会，同时集体福利得以维持。这些结果表明，通过引入由任务相关事件触发的决策暂时性变化，智能体能够根据其所处的社会调整原本稳定的策略。

基于智能体的社会决策建模始终需要采用简化近似和假设，因此无法准确捕捉人类行为的所有方面，但仍有助于针对特定方面和边缘情况作出预测 [14]。智能体模型中的局限性和简化假设意味着，我们无法预测在一项可比的人类行为研究中是否也会发现所观察到的效应。不过，这种仿真方法为建模动态行为、加深对现有人类行为理论的理解提供了有用工具。了解情绪与社会偏好在人类决策中的相互作用，对于开发能够理解人类社会规范并遵循人类道德与伦理原则行事的自主智能体至关重要 [1, 28, 38, 48]。现有大量研究探讨了影响多智能体系统中规范涌现的人为因素 [37, 41]。此外，还有研究对其他因素如何调节理性行为和个体偏好进行建模，以解释人类在游戏及其他社会情境中看似非理性的决策。例如，Kampik 等人 [25]研究了同情心在合作行为中的作用；Sylwester 等人 [44]考察了作为社会规范执行方式的反社会惩罚；K¨oster 等人 [29]则展示了采纳任意且无关紧要的社会规范如何提高智能体社会中的整体规范遵从程度。

在我们选择的仿真任务环境 CT 中，随机变化使每场游戏中智能体所遇到的情境各不相同，但在许多时间步内，任何智能体的平均表现都是可预测的。未来可以通过研究内在情绪如何影响多个任务环境中的社会结果，进一步拓展本研究，从而理解内在情绪对变化的环境中行为调节的影响。在此背景下，可以通过模拟有利于生存的多智能体系统中规范的形成与传播，研究情绪和个体差异所产生的社会影响。

致谢

DC 获得英国研究与创新署（UKRI）交互式人工智能博士培训中心奖项（EP/S022937/1）的支持。CH 是 Leverhulme 研究员（RF-2021-533）。NA 感谢布里斯托大学提供支持。

参考文献

[1] Ajmeri, N., Guo, H., Murukannaiah, P.K., Singh, M.P.: Elessar：规范意识智能体中的伦理。在：第19届自主智能体与多智能体系统国际会议（AAMAS）论文集。第16–24页。IFAAMAS，奥克兰（2020年5月）。https://doi.org/10.5555/3398761.3398769[2] Andrighetto, G., Capraro, V., Guido, A., Szekely, A.：合作、响应时间与社会价值取向：荟萃分析。预印本，PsyArXiv（2020年5月）。https://doi.org/10.31234/osf.io/cbakz, https://osf.io/cbakz[3]Balliet, D., Parks, C., Joireman, J.：社会困境中的社会价值取向与合作：荟萃分析。《群体过程与群际关系》**12**(4), 533–547（2009年7月）。https://doi.org/10.1177/1368430209105040, http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1368430209105040[4]Bogaert, S., Boone, C., Declerck, C.：社会困境中的社会价值取向与合作：综述与概念模型。《英国社会心理学杂志》**47**(Pt 3), 453–480（2008年9月）。https://doi.org/10.1348/ 014466607X244970[5] Bono, S.A., van der Schalk, J., Manstead, A.S.R.：社会价值取向与预期情绪在群际资源分配决策中的作用。《心理学前沿》**11**, 1455（2020年7月）。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01455, https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.01455/full[6] Braz, L.F., Sichman, J.S.：使用迈尔斯-布里格斯类型指标（MBTI）对多智能体系统建模。Revista de Inform´atica Te´orica e Aplicada **29**(1), 42–53（2022年1月）。https://doi.org/10.22456/2175-2745.110015, https://seer.ufrgs.br/rita/article/view/RITA Vol29 Nr1 42[7]Buckman, N., Pierson, A., Schwarting, W., Karaman, S., Rus, D.：分享即关怀：符合社会规范的自主交叉路口协商。在：2019年IEEE/RSJ智能机器人与系统国际会议（IROS）论文集。第6136–6143页。IEEE，澳门，中国（2019年11月）。https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8967997, https://ieeexplore.ieee.org/document/8967997/[8] Cheng, K.L., Zuckerman, I., Nau, D., Golbeck, J.：生命游戏：重复随机博弈的认知策略。在：2011年IEEE第三届隐私、安全、风险与信任国际会议暨2011年IEEE第三届社会计算国际会议论文集。第95–102页。IEEE，美国马萨诸塞州波士顿（2011年10月）。https://doi.org/10.1109/PASSAT/SocialCom.2011.62, http:// ieeexplore.ieee.org/document/6113100/[9]Cheriyan, J., Savari muthu, B.T.R., Cranefield, S.：在线社区中的规范违反——Stack Overflow评论研究。在：Aler Tubella, A., Cranefield, S., Frantz, C., Meneguzzi, F., Vasconcelos, W.（编）《多智能体系统治理中的协调、组织、制度、规范与伦理XIII》，第12298卷，第20–34页。施普林格国际出版公司，Cham（2021）。https://doi.org/10.1007/978-3-030-72376-7 2, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-72376-7 2, 丛书名称：计算机科学讲义。

[10] Cohen, J.：《行为科学中的统计功效分析》。Lawrence Erlbaum Associates，新泽西州希尔斯代尔，第2版（1988年）[11]Criado, N., Argente, E., Noriega, P., Botti, V.：受人类启发的规范遵从决策模型。《信息科学》**245**，218–239（2013年10月）。https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.05.017, https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020025513003915[12] Crosato, L., Wei,C., Ho, E.S.L., Shum, H.P.H.：在自动驾驶汽车与行人的交互环境中，使用社会价值取向实现以人为本的自动驾驶。载于：2021年IEEE第二届人机系统国际会议（ICHMS）。第1–6页。IEEE，德国马格德堡（2021年9月）。https://doi.org/10.1109/ICHMS53169.2021.9582640, https://ieeexplore.ieee.org/document/9582640/[13] Dias, J., Mascarenhas, S., Paiva, A.：FAtiMA Modular：迈向具有通用评估框架的智能体架构。载于：Bosse, T., Broekens, J., Dias, J., van der Zwaan, J.（编）《情绪建模》，第8750卷，第44–56页。施普林格国际出版公司，Cham（2014年）。 https://doi.org/10.1007/978-3-319-12973-0 3, https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-12973-0 3，丛书名称：《计算机科学讲义》[14]Dignum, F.：我们是否应基于社会仿真作出预测？《国际社会研究方法学杂志》**26**(2)，193–206（2023年3月）。https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2137925, https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13645579.2022.2137925[15] Gal, Y., Grosz, B., Kraus, S., Pfeffer, A., Shieber, S.：开放式混合网络中的智能体决策。《人工智能》**174**(18)，1460–1480（2010年12月）。https://doi.org/10.1016/j.artint.2010.09.002, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0004370210001451[16] Gal, Y., Grosz, B., Kraus, S., Pfeffer, A., M. Shieber, S.：彩色路径：一种用于研究策略环境中决策的形式体系。载于：2005年IJCAI推理、表征与计算机游戏学习研讨会论文集。第25–30页（2005年），https://www.ijcai.org/past/ijcai-05/，第十九届人工智能国际联合会议，IJCAI-05；会议日期：2005年7月30日至2005年8月5日[17] Gal, Y., Pfeffer, A.：在人类双边谈判中建模互惠行为。载于：第二十二届人工智能会议（AAAI-07）。第22卷，第815–821页。AAAI出版社（2007年），https://www.aaai.org/Conferences/AAAI/aaai07.php，第22届全国人工智能会议，AAAI-07；会议日期：2007年7月22日至2007年7月26日[18] Grosz, B.J., Kraus, S.：社会依赖关系对决策的影响：基于一款新游戏的初步研究。载于：第三届多智能体系统国际联合会议论文集（AAMAS'04）。第782–789页（2004年）[19] Harsanyi, J.C.：论合作博弈理论所依据的理性公设。《冲突解决杂志》**5**(2)，179–196（1961年6月）。https://doi.org/10.1177/002200276100500205, http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002200276100500205[20] Huang, X., Wu, W., Qiao, H.：用于移动机器人连续控制的情绪驱动决策计算建模。《IEEE认知与发展系统汇刊》

《IEEE认知与发展系统汇刊》**13**(1)，31–44（2021年3月）。 https://doi.org/10.1109/TCDS.2019.2963545, https://ieeexplore.ieee.org/document/8947977/[21] Isen, A.M.：积极情感对复杂情境下决策的影响：理论问题及其实践意义。《消费者心理学杂志》**11**(2)，75–85（2001年1月）。https://doi.org/10.1207/S15327663JCP1102 01, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1207/S15327663JCP1102 01[22] Joireman, J.A., Shelley, G.P., Teta, P.D., Wilding, J., Michael Kuhlman, D.：社会价值取向的计算机仿真：活力、满意度与涌现式博弈结构。载于：Liebrand, W.B.G., Messick, D.M.（编）《社会困境研究前沿》，第289–310页。施普林格柏林海德堡，柏林、海德堡（1996年）。 https://doi.org/10.1007/978-3-642-85261-9 16, http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-85261-9 16[23] de Jong, S., Hennes, D., Tuyls, K., Gal, Y.：彩色路径游戏中的元策略。载于：AAMAS（2011年）[24] Kalia, A.K., Ajmeri, N., Chan, K.S., Cho, J.H., Adalı, S., Singh, M.P.：多智能体系统中情绪与规范的相互作用。载于：第二十八届人工智能国际联合会议论文集。第371–377页。人工智能国际联合会议组织，中国澳门（2019年8月）。https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/53, https://www.ijcai.org/proceedings/2019/53[25]Kampik, T., Nieves, J.C., Lindgren, H.：解释理性智能体的同情行为。载于：Calvaresi, D., Najjar, A., Schumacher, M., Fr¨amling, K.（编）《可解释、透明的自主智能体与多智能体系统》，第11763卷，第59–76页。施普林格国际出版公司，Cham（2019年）。 https://doi.org/10.1007/978-3-030-30391-4 4, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-30391-4 4，丛书名称：《计算机科学讲义》[26] Kianpour, M., Øverby, H., Kowalski, S.J., Frantz, C.：网络安全风险与不确定性情境下决策中的社会偏好。载于：Moallem, A.（编）《网络安全、隐私与信任的人机交互》，第11594卷，第149–163页。施普林格国际出版公司，Cham（2019年）。https://doi.org/10.1007/978-3-030-22351-9 10, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-22351-9 10，丛书名称：《计算机科学讲义》[27]Kraus, S.：多智能体环境中的谈判与合作。《人工智能》**94**(1)，79–97（1997年）。https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0004-3702(97)00025-8 [28] Kuipers, B.：类人道德与机器人伦理。载于：AAAI研讨会：人工智能、伦理与社会（2016年）[29] K¨oster, R., Hadfield-Menell, D., Everett, R., Weidinger, L., Hadfield, G.K., Leibo, J.Z.：虚假规范性增强人工智能体学习遵从与执行行为的能力。《美国国家科学院院刊》**119**(3)，e2106028118（2022年1月）。 https://doi.org/10.1073/pnas.2106028118, https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2106028118[30] Lerner, J.S., Li, Y., Valdesolo, P., Kassam, K.S.：情绪与决策。《心理学年度评论》**66**(1)，799–823（2015年1月）。https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115043, https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-psych-010213-115043

[31] Liebrand, W.B.G., McClintock, C.G.：社会价值环形测量法：用于评估信息处理和社会价值取向个体差异的计算机化程序。《欧洲人格杂志》**2**(3)，217–230（1988年9月）。https://doi.org/10.1002/per.2410020304, http://journals.sagepub.com/ doi/10.1002/per.2410020304[32] Maio, F.：收入不平等测量指标。《流行病学与社区卫生杂志》**61**，849–52（2007年11月）。https://doi.org/10.1136/jech.2006.052969[33]McClintock, C.G.：社会动机——一组命题。《行为科学》**17**(5)，438–454（1972年9月）。https://doi.org/10.1002/bs.3830170505, https: // onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bs.3830170505[34] McClintock, C.G., Allison, S.T.：社会价值取向与助人行为1。《应用社会心理学杂志》**19**(4)，353–362（1989年3月）。https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1989.tb00060.x, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10. 1111/j.1559-1816.1989.tb00060.x [35] de Melo, C.M., Terada, K.：在重复囚徒困境中情绪表达与策略在促进合作方面的相互作用。《科学报告》**10**(1)，14959（2020年12月）。https://doi.org/10.1038/s41598-020-71919-6, https:// www.nature.com/articles/s41598-020-71919-6[36]Moors, A.：情绪评估理论。载于：Zeigler-Hill, V., Shack- elford, T.K.（编），《人格与个体差异百科全书》，第1–9页。施普林格国际出版公司，Cham（2017年）。https://doi.org/10.1007/978-3-319-28099-8-493-1, http://link.springer.com/ 10.1007/978-3-319-28099-8-493-1[37] Morris-Martin, A., De Vos, M., Padget, J.：多智能体系统中的规范涌现：一篇观点论文。《自主智能体与多智能体系统》（JAAMAS）**33**(6)，706–749（2019年）[38] Murukannaiah, P.K., Ajmeri, N., Jonker, C.M., Singh, M.P.：伦理多智能体系统的新基础。载于：第19届自主智能体与多智能体系统国际会议（AAMAS）论文集，第1706–1710页。IFAAMAS，奥克兰（2020年5月）。https://doi.org/10.5555/3398761.3398958，蓝天创意专题[39] Nardin, L.G., Balke-Visser, T., Ajmeri, N., Kalia, A.K., Sichman, J.S., Singh, M.P.：社会技术系统中的制裁分类与制裁过程模型概念设计。《知识工程评论》（KER）**31**，142–166（2016年3月）[40] Pillutla, M.M., Murnighan, J.K.：不公平、愤怒与恶意：对最后通牒提议的情绪性拒绝。《组织行为与人类决策过程》**68**(3)，208–224（1996年）[41]Savarimuthu, B.T.R., Cranefield, S.：规范创建、传播与涌现：多智能体系统中规范仿真模型综述。《多智能体与网格系统》**7**(1)，21–54（2011年5月）。https://doi.org/10.3233/ MGS-2011-0167, https://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress& doi=10. 3233/MGS-2011-0167[42] Schwarting, W., Pierson, A., Alonso-Mora,J., Karaman,S., Rus,D.：自动驾驶车辆的社会行为。《美国国家科学院院刊》

116(50)，24972–24978（2019年12月）。
https://doi.org/10.1073/pnas.1820676116,
https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1820676116[43] Straub, P.G., Murnighan, J.K.：最后通牒博弈的实验研究：信息、公平、预期与最低可接受报价。《经济行为与组织杂志》**27**(3)，345–364（1995年）[44] Sylwester, K., Herrmann, B., Bryson, J.J.：人对人如狼？解释反社会惩罚。《神经科学、心理学与经济学杂志》**6**(3)，167–188（2013年9月）。https://doi.org/10.1037/npe0000009, http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/npe0000009[45] Tzeng, S.T., Ajmeri, N., Singh, M.P.：Fleur：面向稳健规范涌现的社会价值取向。载于：Ajmeri, N., Morris Martin, A., Savarimuthu, B.T.R.（编），《多智能体系统治理的协调、组织、制度、规范与伦理XV》，第13549卷，第185–200页。施普林格国际出版公司，Cham（2022年）。
https://doi.org/10.1007/978-3-031-20845-4 12, https: //link.springer.com/10.1007/978-3-031-20845-4 12，系列名称：《计算机科学讲义》[46] Vilone, D., Realpe-G´omez, J., Andrighetto, G.：人类合作行为中转折点的进化优势。《公共科学图书馆·综合》**16**(2)，e0246278（2021年2月）。
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246278, https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0246278[47] V¨astfj¨all, D., Slovic, P., Burns, W.J., Erlandsson, A., Koppel, L., Asutay, E., Tingh¨og, G.：情感的算术：在判断与决策中整合偶发情感与内在情感。《心理学前沿》**7**（2016年3月）。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00325, http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpsyg.2016.00325/abstract[48] Woodgate, J., Ajmeri, N.：治理公平社会技术系统的宏观伦理。载于：第21届自主智能体与多智能体系统国际会议（AAMAS）论文集，第1824–1828页。IFAAMAS，线上（2022年5月）。
https://doi.org/10.5555/3535850.3536118，蓝天创意专题[49] Yamagishi, T., Horita, Y., Takagishi, H., Shinada, M., Tanida, S., Cook, K.S.：对不公平提议的私下拒绝与情感承诺。《美国国家科学院院刊》**106**(28)，11520–11523（2009年7月）。
https://doi.org/ 10.1073/pnas.0900636106,
https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0900636106[50] Yamagishi, T., Li, Y., Takagishi, H., Matsumoto, Y., Kiyonari, T.：寻找经济人。《心理科学》**25**(9)，1699–1711（2014年9月）。https: //doi.org/10.1177/0956797614538065,
http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/ 0956797614538065[51] Zheng, Y., Yang, Z., Jin, C., Qi, Y., Liu, X.：情绪对公平相关决策的影响：理论与证据的批判性综述。《心理学前沿》**8**，1592（2017年9月）。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01592,
http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.01592/full