arXiv:2601.09354v1 [cs.GT] 14 Jan 2026

在平等主义社会福利下衡量在 MARA 中说谎的收益*

JonathanCarrero[1], Ismael Rodríguez[1,2], 和 Fernando Rubio[1,2] †‡

摘要

当需要根据平等主义社会福利在一组代理人之间分配一些资源时，目标是最大化效用最终最低的代理人的效用。在这种情况下，代理人可能会产生谎报其实际偏好的动机，从而使更有价值的资源分配给自己。本文分析了这一情形，并介绍了一项实践研究，在不同情境下使用遗传算法评估说谎的收益。

关键词： 社会福利；遗传算法；Complexity。

1 引言

数十年来，计算机科学与经济学一直在相互促进、成功应用。经济学概念和机制可用于在计算环境中分配稀缺资源（例如参见 [1, 2]），而计算机科学则被用于确定开发若干经济任务的难度（例如参见 [3, 4, 5, 6]）。

实际上，在资源交付问题中遇到的一些挑战，无论代理是自然的还是人工的，都相同。多智能体资源分配（MARA）研究的是这样一个问题：在已知代理人对资源的偏好的情况下，将某些资源分配给某些代理人。特定 MARA 环境的定义取决于许多因素，而首先需要解决的问题是分布的目标是什么。例如，目标可能是通过竞标者为资源或资源束支付的款项，最大化负责进行分配的特定代理

*本文发表于2020年IEEE系统、人类与控制论国际会议（SMC）。当前版本为作者接受的稿件。本研究部分获得项目TIN2015-67522-C3- 3-R、PID2019-108528RB-C22的资助，并获得马德里自治区S2018/TCS-4339计划（BLOQUES-CM）的资助，该计划由欧盟EIE基金共同资助。

†1马德里康普顿斯大学信息学院计算机系统与计算系，西班牙马德里 28040。
joncarre@ucm.es, isrodrig@sip.ucm.es, fernando@sip.ucm.es

‡2知识技术研究所，马德里康普顿斯大学，西班牙马德里 28040。

（或拍卖者）的收益（后者称为赢家确定问题 [7]）。或者，如果目标是满足获得这些资源的代理人的偏好，那么根据所追求的社会满意度类型（社会福利），还会有其他选择。例如，目标可能是最大化所有获得这些资源的代理人的效用之和，这就是所谓的功利主义社会福利；也可能是最大化效用最低的代理人的效用，这被称为平等主义社会福利（例如，在灾难发生后分配人道主义资源）；还可以考虑其他标准（例如参见 [8]）。关于代理人偏好的表示方式，代理人可以仅为每种可用资源赋予一个数值，并假设具有可加偏好（即，一个资源束的效用等于该资源束中所有资源的效用之和）。或者，在非可加情形下，可以为资源束赋予不同于简单相加结果（更高或更低）的效用，这些偏好可以通过多种方式表示 [9]。关于实现所需交付的过程，我们可以假设由某一方（例如拍卖者）一次性完成，该方最初接收所有代理人的偏好；也可以假设所需交付是代理人之间根据某些局部规则反复进行局部交互的结果 [10]。

我们来考虑一次性完成的配送。值得注意的是，代理人可能会为了最大化自身效用，而有动机向拍卖者传达虚假偏好。例如，如果配送的目标是实现功利主义社会福利，那么代理人可能会谎称自己从每种资源中获得的效用高于实际值，从而获益，因为将资源分配给最需要它们的代理人，可以使代理人效用之和最大化。为了解决这个问题，广义维克里拍卖（GVA） [11] 引入了一种支付机制，以消除代理人传达不同于真实偏好的偏好的任何动机。在这种拍卖中，先找出能使效用之和最大化的资源分配，并将资源分配给代理人；此外，每个代理人还必须支付一笔金额，相当于该代理人的参与给其他代理人造成的效用损失 。具体而言，这笔支付等于在该代理人不存在时其他代理人的效用，减去实际资源分配下其他代理人的效用。将这笔支付计入后，每个代理人的最终效用便是所有 代理人的效用之和（包括该代理人获得资源所带来的效用，以及另一方面，由于实际分配中其他代理人的效用而产生的扣减 支付），再减去另一项代理人无法控制的数值：如果该代理人没有参与，所达成的分配所对应的支付。因此，在代理人能够控制的范围内，其效用（由获得的资源和支付共同决定）会随着所有代理人效用之和的最大化而最大化，而传达真实偏好恰好能使这一总和最大化。这一性质通常称为策略无关性，它消除了广义维克里拍卖中策略性行为的动机——尽管该机制还存在其他缺点（例如，参见 [12, 13], ，其中讨论了与欺诈、机密信息披露等相关的问题）。

据我们所知，对于平等主义社会福利的情况，目前还没有发现类似的“抑制谎报”机制。事实上，在这种情况下，待最大化函数本身存在的不连续性阻碍了这一目标的实现，因为只需稍微改变资源分配，效用最低的代理人的效用就会发生剧烈变化。显然，我们很难像GVA对功利主义社会福利所做的那样，通过引入（合理且不会造成过度扭曲的）支付，使代理人的效用与平等主义社会福利相一致。请注意，不抑制谎报确实是个问题：如果分配机制只是以最大化平等主义社会福利的方式分配资源，那么代理人就确实有明显的说谎动机。事实上，代理人只需采取与我们之前对功利主义社会福利所说的相反做法：通过虚假地降低资源所带来的效用值，代理人就能提高自己成为效用最低者的机会，进而成为分配机制要提高其效用的对象。因此，代理人可以轻而易举地通过低报自己的偏好来增加收益。

尽管在这种分配方式下，似乎不可能彻底消除说谎（即发送虚假偏好）的动机，但不难发现，只需对规则做一些简单的调整，就能让说谎获利变得更困难，或者至少让说谎者无法确定自己能否获利。例如，如果强制所有代理人将其对单个资源的效用加总至某个固定常数，那么代理人就不能随意低估自己对所有资源的偏好，因为低估某种资源意味着冒险高估另一种资源。即使在平等主义社会福利下，我们无法彻底消除虚假偏好的动机，仍然可以衡量规则的某些修改在多大程度上能够做到这一点，并检验其中一些修改在实践中是否能实质上消除发送虚假偏好的动机。请注意，某些说谎方式比其他方式更有可能带来收益。此外，假设有意说谎的代理人能够估计其他代理人将会传达的偏好（不论这些偏好是否真实）。那么，对该代理人而言，最优的虚假偏好集合，是指这样一组偏好：若将其告知拍卖者，并且其他代理人也发送该代理人所估计的偏好，那么使平等主义社会福利最大化的资源分配也将使该代理人的真实效用最大化——甚至可能高于发送真实偏好所获得的效用。请注意，如果其他代理人发送的偏好与该代理人的估计不同，这个所谓的最优虚假偏好集合可能就没有那么理想。事实上，在任何现实情境中都可能出现一定偏差（即估计误差），因此，这个所谓的最优虚假偏好集合是否合适，可能在很大程度上取决于偏差程度：偏差较小时，采用这些虚假偏好或许比说实话更好；偏差较大时则未必如此。此外，某些分配机制规则（例如，强制效用总和等于某个常数）可能会使采用这些最优虚假偏好时的分配对偏差更加敏感——以至于即使偏差很小且很可能发生，总体而言说实话也比说谎更好。在这种情况下，我们可以说，在这些规则下，说谎的动机在实践中被消除了

那些特定规则。

本文旨在通过实验考察，在平等主义社会福利的背景下，我们能否在实践中抑制撒谎。实验中，一些代理人会按照预先定义的撒谎策略撒谎，或者使用这样一种谎言：假设其他代理人的行为与该代理人的估计完全一致，这种谎言便是最优的。我们将假设一个基本的平等主义社会福利 MARA 场景，其中偏好具有可加性，不过，我们的实验也可以轻松扩展到考虑其他更复杂的偏好。事实上，由于最大化平等主义社会福利是 NP难的，求解这一优化问题的每个实例都需要使用近似算法（具体而言，我们将选用遗传算法，不过也可以使用其他任何元启发式算法，例如 [14, 15, 16]）。简而言之，我们的实验将表明，如果要求偏好之和等于某个给定常数，那么：（a）任何预先定义的撒谎策略都无法带来收益；（b）根据对其他代理人偏好的某种估计来使用最优谎言，若该估计哪怕略有偏差，其效果也会不如实话实说。

本文其余部分安排如下。下一节将正式介绍本文所研究的问题。第 3 节报告实验结果，第 4 节给出结论。

2 形式化模型

本节介绍本文所研究问题的形式化概念。

定义 1 设 $R = \{r_1, \ldots, r_m\}$ 为资源集合，$A = \{A_1, \ldots, A_n\}$为代理人集合。

R到 A的所有可能分配构成集合 $\mathcal{A} = A \times \ldots \times A$。给定$m\alpha \in \mathcal{A}$，其中 $\alpha = (\alpha_1, \ldots, \alpha_m)$，若分配 α将每项资源r_j 分配给代理人 α_j，对所有 $1 \leq j \leq m$ 均成立，则称该分配满足此条件。□

效用函数是一个接收资源分配并返回实数的函数。通常，效用函数用于表示代理人对资源束的偏好：若代理人的效用函数为 u，且 $u(\alpha_1) > u(\alpha_2)$，则该代理人更偏好分配 α_1 而非分配α_2。

定义 2 效用函数是一个函数 $u : \mathcal{A} \longrightarrow \mathbb{R}^{\geq 0}$。

我们称 u仅依赖于代理 A_i，如果对于所有满足 $\alpha_j = \beta_j = A_i$或对每个 $1 \leq j \leq m$均满足 $\alpha_j \neq A_i \neq \beta_j$的 $\alpha = (\alpha_1, \ldots, \alpha_m) \in \mathcal{A}$和 $\beta = (\beta_1, \ldots, \beta_m) \in \mathcal{A}$，都有 $u(\alpha) = u(\beta)$。此外，如果对于所有 $\alpha = (\alpha_1, \ldots, \alpha_m) \in \mathcal{A}$，都有 $u(\alpha) = \sum_{\{j \mid \alpha_j = A_i\}} u(A_k, \ldots, A_k, A_i, A_k, \ldots, A_k)$，其中 A_k是任意一个满足$\underbrace{i-1}_{m-i}$ $A_k \neq A_i$的代理，我们也称 u对代理 A_i具有加性。

□

注意，如果 u 对 A_i具有加性，那么我们可以用向量$P = (p_1, \ldots, p_n)$来表示 u，其中 $p_i \in \mathbb{R}^{\geq 0}$ 表示通过获得每种资源而增加的个体效用。形式上， u可由 P 如下明确构造：对于所有 $\alpha = (\alpha_1, \ldots, \alpha_m)$， $u(\alpha) = \sum_{\{j \mid \alpha_j = A_i\}} p_j$。因此，加性效用函数 u可以直接用向量 $P = (p_1, \ldots, p_n)$表示。给定 $r \in \mathbb{R}^{>0}$，我们称加性效用函数 u为 r上限，如果 $\sum_{1 \leq i \leq n} p_i = r$ （第3节将开展假设和不假设这一约束的实验）。

对于非加性效用函数，表示资源组合偏好有多种方式：外延地定义所有可能资源子集的价值，规定拥有特定资源 k-组合时应加上或减去的价值，等等。这种表示方式会影响基于这些函数的任何优化问题的复杂度 [9]。下文中，本文仅考虑加性效用函数。

我们用 $\mathcal{U}$ 表示所有可能的加性效用函数的集合。代理人元组 A 中所有代理人的效用函数将表示为元组 $U = (u_1, \ldots\ldots, u_n) \in \mathcal{U}^n$，其中每个 u_i 都是代理人 A_i的效用函数。

我们定义这样一个资源分配优化问题：使获得效用较低的代理人的效用最大化。在下一个定义中，辅助项$\mathbf{eg}_{A,\ R,\ U}(\alpha)$表示资源分配为 α时满意度较低的代理人的效用。

定义3 给定 $A = (A_1, \ldots\ldots, A_n)$、 $R = (r_1, \ldots\ldots, r_m)$和 $U = (u_1, \ldots\ldots, u_n)$，对于所有 $\alpha \in \mathcal{A}$ ，令 $\mathsf{eg}_{A,R,U}(\alpha) = min\{u_j(\alpha) \mid 1 \leq j \leq n\}$。平等主义社会福利优化问题是指：给定 A、 R、 U，求使 $\mathsf{eg}_{A,R,U}(\alpha)$ 最大化的 α。我们将 A、 R、 U 下该问题的解记为 $\mathsf{egsol}(A, R, U)$。□

前述问题的 NP-困难性已在 [17], 中得到证明，并且除非 $P = NP$ [18]，否则无法在多项式时间内以 $\beta > 1/2$ 的因子进行近似。

命题 1 考虑平等主义社会福利优化问题的一个变体，其中给定了一个额外的输入 $r \in \mathbb{R}^{\geq 0}$ ，且所有所考虑的效用函数都必须受到 r 限制。所得问题同样是 *NP* 难问题。

证明。 在 [17], 中，定义3所述问题的NP-困难性可通过将NP难问题 PARTITION 简单地多项式归约到该问题来证明。在此归约中，构造出的该问题实例仅包含两个具有相同效用函数的代理，这进而表明，即使附加限制为只考虑两个代理且其效用函数相同的实例，公平主义优化问题仍然是NP难的。这意味着定义3所述问题的一种变体也是NP难的：该变体仅允许使用 $r \in \mathbb{R}$ （作为问题输入给定）所规定的 r有限效用函数（即对于每个代理，所有资源的估值之和必须等于给定常数 r）；这是因为前述涉及两个具有相同偏好的代理的变体（该变体为NP难问题）可以直接多项式归约到

该 r有限问题：注意，两个代理的偏好之和必然等于某个值 v，因此我们只需设定 $r = v$。
□

我们将负责根据所有代理人的效用函数，寻找使平等主义社会福利最大化的资源分配的第三方称为<藏 style id='1'>拍卖者 。接下来，我们引入这样一个问题：寻找给定代理人的最优虚假效用函数，即寻找一个（可能是虚假的）效用函数，使该代理人在平等主义社会福利分配中最大化其效用。也就是说，我们寻找这样一个效用函数：如果代理人 A_i 将其发送给拍卖者并且 其他代理人发送给拍卖者的效用函数是代理人 A_i实际估计的效用函数，那么在使平等主义社会福利最大化的分配中，代理人 A_i凭借其真实 效用函数所获得的效用将达到最大值。在下一个定义中，术语**虚假**$_{A,R,U,i}(f)$表示：如果代理人 A_i 发送给拍卖者的效用函数是 f，则该代理人所获得的效用。请注意，计算这一术语意味着要解决定义3中给出的优化问题，因此最大化该术语意味着依次对一个术语进行优化，而该术语的计算又需要进行另一次优化。

定义4 给定如前所述的 A, R, U 以及 $i \in \mathbb{N}$，对于所有 $f \in \mathcal{U}$，令 fake$_{A,R,U,i}(f) = u_i(\alpha_f)$，其中 $\alpha_f = \text{egsol}(A, R, (u_1, \ldots, u_{i-1}, f, u_{i+1}, \ldots, u_n)$。最优虚假效用问题是指，给定 A, R, U和 i，求使 fake$_{A,R,U,i}(f)$ 最大化的 f。我们将 A, R, U, i 对应的问题解记为 fakesol(A, R, U, i)。

□

尽管从直观上看，前述问题是对一个项进行优化，而计算该项又需要进行另一次优化，但我们可以看到，按照定义求解该问题并不困难。

命题2 令代理A_i对各代理 A_j 的效用函数估计值（以及当 $j = i$时代理 A_i 本身的效用）为 $P^j = (p^j_1, \ldots, p^j_n)$。 A_i 的最优虚假效用函数为 $P'^i = (c \cdot p^i_1, \ldots, c \cdot p^i_n)$，其中 $c \in \mathbb{R}^{>0}$ 是任意正值，满足对于所有 $k \neq i$ 和 l，若 $p^k_l > 0$，则 $\sum_{1 \leq s \leq n} c \cdot p^i_s < p^k_l$。

证明。首先，假设存在某种资源分配$\alpha \in \mathcal{A}$，使得 eg$_{A,R,U}(\alpha) > 0$（即存在一种资源分配，能为所有代理人带来非零效用）。我们证明，对于 A_i 而言，最优的虚假效用函数就是所提出的函数（注意， c 始终存在）。代理人 A_i 的这些虚假偏好意味着，即使拍卖者将所有资源都分配给 A_i，A_i 获得的效用仍低于任何其他代理人通过获得该代理人有非零偏好的任意资源所能获得的效用。请注意，在这种情况下，拍卖者的目标（即最大化 eg$_{A,R,U}(\alpha)$）与最大化 A_i 的虚假效用（即偏好 P'^i）一致，前提是其他代理人获得某种非零效用（注意，如果无法满足这一约束，则这与我们先前的假设矛盾，即对于某个 α，eg$_{A,R,U}(\alpha) > 0$）。另一方面，请注意，在满足同一约束的前提下， A_i 的目标是最大化其真实效用（因为拍卖者绝不会选择无法为所有代理人带来非零效用的分配）。请注意，在该约束下最大化 $P^i = (p^i_1, \ldots, p^i_n)$等价于

在同一约束下最大化 $P'^i = (c \cdot p_1^i, \ldots, c \cdot p_n^i)$。因此， A_i 的最优策略是向拍卖者提交偏好 P'^i 。

在不存在 α 使得 **例如**$_{A、R、U}(\alpha) > 0$ 的（退化）情况下，代理 A_i 无法控制拍卖者所选择的资源分配，因为根据拍卖者的目标，这些分配都同样理想（因为任何分配 α 都会产生 **例如**$_{A、R、U}(\alpha) = 0$）。因此，对于 A_i 而言，偏好 P'^i 与其他任何偏好一样都是最优的。□

让我们考虑定义4中给出的问题，并附加如下约束：所有代理的偏好都必须针对某个作为问题输入给定的 $r \in \mathbb{R}^{>0}$ 而满足 r-受限。在这种情况下，解不能像之前那样平凡地构造（注意， P'^i 将不满足该约束）。实际上，在这种情况下，对一个计算需要另一个优化的问题项进行优化确实会使所得问题困难得多。我们猜想所得的（判定）问题是 Σ_2^P-完全的。

3 实验

本节介绍我们开展的若干实验，用以检验在平等主义社会福利情境下撒谎是否有用。也就是说，我们研究代理向拍卖者发送与其真实偏好 P不同的偏好向量时会发生什么。从现在起，我们用 T (True)表示某个代理对可用资源的真实偏好向量；另一方面，我们用 M (Modified)表示修改后的偏好向量，即实际传达给拍卖者的向量。

我们将在实验中考察三个阶段。首先，分析一些预定义撒谎策略是否有用（例如，提高或降低我们对最看重的资源，或其他用户最看重的资源的偏好等）；其次，使用遗传算法动态搜索每个特定问题实例的最优虚假偏好（而不是像之前那样按照预定义规则构造偏好）；最后，分析当我们掌握的其他用户偏好信息并不完美时，撒谎策略的表现。

根据代理人对其可传达偏好的限制，对于上述每个阶段，我们都考虑两种场景。第一种称为“无限制场景”，每位代理人都必须为每项资源设定一个偏好值，且该值须位于区间 (0,100) 内。第二种称为“有限场景”，除了满足上述限制外，所有偏好值之和还必须等于 100。

在所有实验中，我们都假设代理 1 是我们正在分析的说谎代理。在每种情况下，该代理都会尝试通过修改其表达的偏好来获得尽可能高的效用。我们针对不同数量的代理人和可用资源进行了多组实验，并在所有实验中观察到了相同的趋势和模式。因此，为了简明、具体地呈现数据，我们只展示

表 1：无限制场景中代理人的真实偏好

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
代理 1 42.										
代理 2 53.	70	96.73	70.87	68.47	86.95	51.34		3.06	30.01	55.03 45.42
代理 3 88.	49	17.88	70.73	98.71	30.42	40.71	98.41	85.19	42.08	57.05
代理 4 95.	08	50.57	69.31	26.01	56.03	64.09	55.08		6.62	49.24 31.69

表 2：有限场景中代理人的真实偏好

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
代理 1 17.			4.35	12.00	5.47	0.77	14.57			
代理 2	1.927	6.09	19.66	18.17	10.51	10.75		2.42	3.31	23.04 4.07
代理 3	16.95	12.24	11.64		7.33	7.63	12.57	9.87	8.73	11.33 1.66
代理 4	14.41	2.20	16.78		1.03	13.15	9.70	5.18	5.46	17.19 14.85

四名代理人分配十项资源这一案例研究的结果。表 1 列出了无限制场景下四名代理人的真实偏好，而表 2 列出了受限情形下代理人的偏好。如前所述，我们的实验将分析代理 1 表达不同偏好时会发生什么。不过，无论哪种情况，代理 1 获得的效用都将根据其实际偏好计算，也就是表 1 和表 2 相应行中所列的偏好。

3.1 测试通用撒谎策略

为了获得更大的收益，代理 1 在向拍卖者传达自己的偏好时可能会撒谎。需要注意的是，代理 1 撒谎时，通常并不确定这个谎言是否能为自己带来更大的收益，因为此时资源分配尚未完成。接下来，我们将探究代理 1 是否有某种撒谎策略可供遵循，从而通常能通过撒谎获利。

我们第一组实验旨在测试一组预定义撒谎策略。例如，对于自己最感兴趣的物品，总是表达较低（或较高）的偏好，这是否是一个好策略？对于自己不太感兴趣的物品（或其他代理人可能评价较低的物品），采用同样的策略是否有用？

我们测试了不同的策略。对于每种策略，我们比较代理不撒谎时与采用该策略、以不同撒谎程度撒谎时所获得的结果（撒谎程度越高，偏离相应真实值的幅度越大）。表 3 展示了一些已采用的策略示例。

为了计算代理 1 通过谎报所能获得的收益（或损失），我们首先必须知道它如实传达其

表 3：基本撒谎策略概述

Test	描述
1	降低对随机资源的偏好
2	提高对随机资源的偏好
3	提高对其他代理人最看重的资源的偏好
4	提高对其他智能体不太看重的资源的偏好
5	提高对自身最看重的资源的偏好
6	提高对自身不太看重的资源的偏好
7	降低对其他智能体最看重的资源的偏好
8	降低对其他智能体不太看重的资源的偏好
9	降低对自身最看重的资源的偏好
10	降低对自身不太看重的资源的偏好

真实偏好时所获得的效用。由于根据平等主义社会福利（见定义3）求得最优资源分配是一个 NP难问题，我们使用遗传算法来处理这个问题。负责求解该问题的算法称为 LLGA（低层遗传算法）。在我们的示例中，LLGA 的种群包含 50 个个体，运行 50 次迭代，并采用锦标赛选择。

另一方面，在实际使用相应谎言时，我们还必须解决同一个问题，该谎言由偏好向量 M 给出。请注意，这样做可能会得到不同的解。要了解代理 1 使用其谎言所获得的收益或损失，只需用第二个解所获得的效用（即使用其向量 M 时）减去初始解所获得的效用（即使用其向量 T 时）。如果相减结果为正，那么向拍卖者传达这一谎言就是值得的。

让我们从最简单的情形，即无限情形开始。在下面的图中，纵轴表示代理 1 获得的收益（或损失），而横轴表示策略的应用程度（即，所传达的偏好与其实际拥有的资源偏好之间的增加/减少幅度）。这些应用程度通过 100 次逐步增加/减少来表示。

图1展示了应用前两项测试的结果，即分别降低和提高对某些随机资源的偏好。可以看出，当我们开始稍微调整对某些资源的偏好时，无论采用哪种策略（降低还是提高偏好），似乎都不起作用。不过，提高偏好显然更糟，因为从一开始附近就出现了一些负峰值。图中的这些峰值是由我们处理的资源数量造成的。请记住，我们只有十项资源，在某个解中仅改变其中一项，就可能导致结果发生很大变化（如果考虑更多资源，这些峰值就会

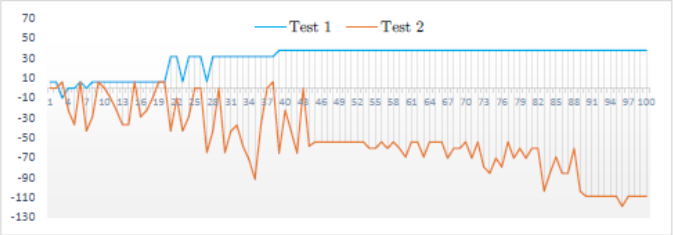


图1：在无限制情形下采用通用谎报策略得到的结果：偏好递减（测试1）或递增（测试2）

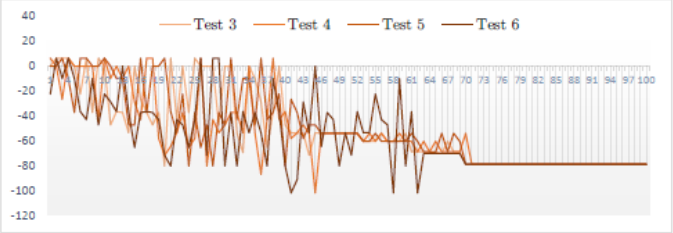


图2：在无限制情形下采用通用谎报策略得到的结果：通过不同策略提高偏好

变得平缓，变化也会更加渐进）。与此同时，随着代理 1 不断加大对其偏好的调整幅度，我们观察到，测试2所采用的策略会造成更大的效用损失。然而，在测试1中，效用趋于稳定。这些策略表明，相对于偏好向量 T，传达更高偏好的谎言似乎不是代理 1 应采取的好策略。另一方面，在测试1中，随着其对偏好向量 T 的偏好谎报得越来越多，所获得的效用显著提高，从而使代理 1 获益。

让我们看看一些进一步提高对资源偏好的测试。图2显示，这些测试并未给代理 1带来任何好处。似乎所有向拍卖者传达更高偏好的谎言都没有带来好处，这进一步印证了我们之前看到的测试2结果。

另一方面，图 3展示了一些策略，在这些策略中，代理 1传达的偏好低于其真实偏好。正如我们所预料的，所有涉及降低偏好的策略都有效，而且随着我们考虑的资源数量增加，效果也会更好。正如我们所见，这些策略中有些优于其他策略，尤其是测试10：代理 1降低了对其价值较低的资源的偏好。

这些最后的策略让我们不禁想知道，测试10期间获得的效用是否可能达到最高。尽管非常接近，但它并非最大值。降低所有资源的偏好后，可以得到稍好一些的结果。

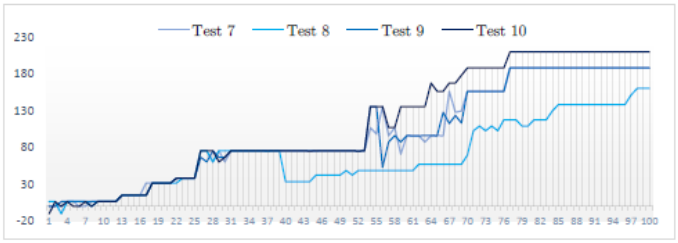


图 3：无限场景下采用通用谎报策略所得到的结果：偏好递减的不同策略

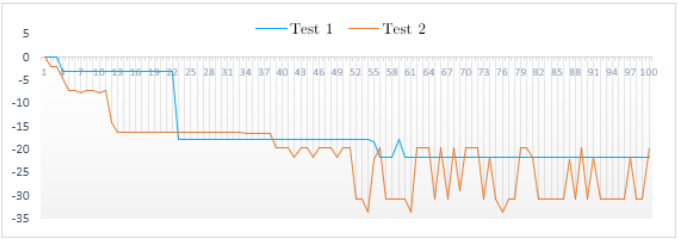


图 4：有限场景下采用通用谎报策略所得到的结果：偏好递减（测试1）或递增（测试2）

正如我们稍后将看到的，这个最后的测试验证了代理 1 的最佳谎言策略（根据命题2）。

总而言之，这些测试清楚地表明，在无限场景下撒谎轻而易举，因为代理 1 可以采用一种良好的策略：尽可能降低自己对资源的偏好。然而，当我们面对有限 场景时，就无法降低对所有资源的偏好。因此，每次降低对某种资源的偏好时，都必须提高对另一种资源的偏好，以保持总和不变。图 4 展示了与之前相同的策略在有限场景下所得到的结果。由此可见，新约束使得很难找到能为代理 1 带来好处的策略。事实上，这些策略最终都未能奏效，反而降低了代理 1 的满意度。即使代理 1 降低了对自己最看重的资源的偏好（见图 6），也必须提高对其他资源的偏好。因此，拍卖者可能会分配给代理 1 一些对它而言并不真正有用的资源。

换言之：在有限场景中，似乎不存在一种通用策略，能让代理 1 说谎时始终改善其结果。不过，这并不一定意味着完全不鼓励说谎——这只意味着通用的预定义策略似乎并无用处。然而，对于每个具体的案例研究，都有可能动态地

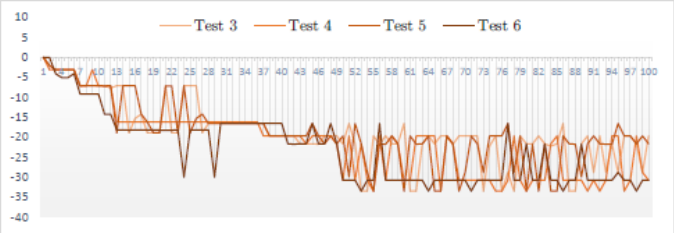


图5：有限场景中采用通用谎报策略得到的结果：不同策略提高偏好

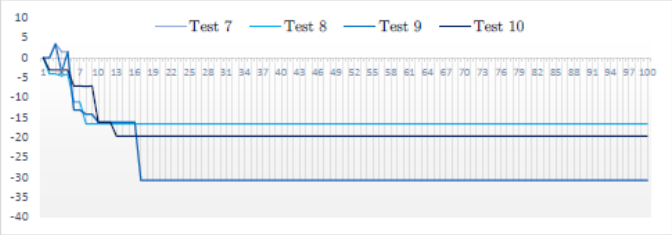


图 6：有限场景中采用通用谎报策略得到的结果：不同策略降低偏好

找到一种量身定制的谎言，为代理 1 带来更高的效用。事实上，在接下来的实验中，我们将分析这种可能性。

3.2 寻找最佳谎言

我们已经看到，通用谎报策略在无限制场景中很有用（事实上，在任何无限制场景中，降低所有资源的估值都是一种良好策略），但在有限场景中，我们还未能找到一种好的策略。

接下来，我们将尝试构造临时谎言，以应对每一种具体配置。事实上，我们现在的目标是为每个案例研究找出最优谎言。也就是说，我们想找出代理 1 能够传达的最佳谎言，即能使其获得尽可能高效用的谎言。在无限场景中，求得这一效用很简单：无论代理人和资源的数量是多少，只要代理 1 按比例大幅低报其自身偏好的估值，使拍卖者认为在任何能让所有代理人都获得非零效用的分配中，代理 1 都是满意度最低的代理人，它就能获得最高效用（见命题2）。在这种情况下，代理 1 将获得它依据真实偏好最看重的n-m 个资源，其中n是可用资源的数量，m 是其他代理的数量。请注意，要让其他代理人获得一定的满意度，就必须至少给每位代理人分配一个资源。然而，为了最大化代理 1 获得的效用，

其余代理人必须获得代理 1 最不看重的那些资源。代理 1 将降低偏好以说谎的策略推向极致，就能获得剩余资源，也就是它最看重的那些资源。

为了找到最佳谎言，我们必须解决如下问题：找到使效用函数 f maximizing $\mathbf{fake}_{A,\ R,\ U,\ i}(f)$ 最大化的函数，其中 f 表示要发送给拍卖者的虚假偏好（见定义4）。正如我们已经看到的，解决这个问题需要进行一层优化中的优化。负责寻找这一最佳谎言的遗传算法称为 ULGA（上层遗传算法）。在该算法中，种群中的每个个体都代表代理 1 的一种可能谎言。也就是说，一个个体是一个向量 M，表示代理 1 可以告知拍卖者的一种可能的资源估值。ULGA 用于评估个体（即候选虚假偏好）质量的适应度函数，需要评估相应谎言 M 为代理 1 带来收益的效用。因此，对于每个个体 M，计算其适应度首先需要计算拍卖者依据平等主义社会福利规则可以执行的最优资源分配。因此，对于 ULGA 种群中的每个谎言 M，我们使用算法 LLGA 来计算：当代理 1 发送的偏好为 M 所示时，拍卖者选定的资源分配。ULGA 中每个可能个体（谎言） M 的适应度，是将代理 1 在 LLGA 找到的资源分配中分配到的每种资源的真实 价值相加得到的（注意，这些真实 价值取自向量 T，而非 M）。

为了检验我们的方法能否得出良好的解，我们从最简单的情况——无限制场景——开始。随后，我们将转向最有趣的情况，即有限场景。

使用锦标赛选择法对由 50 个个体组成的种群进行演化，共进行了 3,000 次。表4中可以查看代理 1 的最优谎言（偏好）以及得到的分布（在这些分布中，数字表示每个资源分配给了哪个代理）。由此可见，除三项资源外，其余资源都分配给了代理 1。此外，这三项资源正是代理 1 最不喜欢的资源。因此，根据显而易见的理论极限——每个代理至少要分配到一项资源——ULGA 实际上找到了能为代理 1 提供最佳资源分配的解。需要指出的是，为了持续获得更好的谎言，ULGA 无须永远 降低代理 1 对各项资源的偏好。事实上，当代理 1 的估值足够低时，就能得到对其最有利的资源分配（请注意，这一实验观察结果与命题2一致）。

关于有限场景，种群经历了相同次数的进化，但在这种情况下，效用收益相对较低，收益仅略高于 10。这一点我们早有预料，因为正如上一节所述，在最初的实验中，基本的预定义策略都不起作用。无论如何，实验表明，在有限场景中说谎仍然有利可图，尽管显然更难找到一个适合传达给拍卖者的谎言。表5展示了

表4：ULGA 在无限制场景下获得的最佳谎言

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
真实 A1	42.36	19.18	75.37	42.32	60.20	68.98	85.30	20.66	31.67	60.41
分布	4	2	1	3	2	4	1	3	4	1
谎报 A1	2.21	2.27	10.57	3.12	6.5	5.55	12.09	2.18	2.27	4.87
分布	1	4	1	1	1	1	1	3	2	1

表5：ULGA 在有限场景中获得的最佳谎言

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
真实 A1	17.67	12.58	4.35	12.00	5.47	0.77	14.57	3.49	16.55	12.504
分布	1	3	2	2	4	3	4	3	1	4
谎报 A1	13.53	9.52	14.35	9.86	6.1	8.83	9.03	5.43	12.2	11.11
分布	1	3	2	2	4	3	1	3	1	4

代理 1 的偏好向量 T 以及 ULGA 找到的最佳谎言，还有每种偏好对应的分布。值得注意的是，得到的最佳谎言与真实偏好截然不同。此外，从真实偏好转向最佳谎言并不存在明确的通用策略，因为这取决于与其他代理人偏好相关的细微调整。

3.3 分析不精确信息

前面的实验表明，即使在有限场景中，也有可能找到特定谎报，使代理 1 在向拍卖者传达谎报后获得更高收益。然而，ULGA 找到的特定解决方案要求代理 1 知道其余代理人的偏好，因为在应用 LLGA 时，需要这些偏好来评估每种谎报的效用。因此，一个新的问题随之而来：当我们无法完全确定其余代理人的偏好是否与代理 1 实际假设并输入算法中的偏好一致时，使用 ULGA 得到的谎报是否仍然是个好主意？也就是说，当我们对其余代理人的预测不够准确时，会发生什么？

本节报告了为分析上述问题而进行的一些实验。我们使用 ULGA 找出代理 1 必须向拍卖者传达的最优谎言，并假设其他代理人的偏好与代理 1 所考虑的偏好相同。随后，我们评估了当这些偏好并不准确时，该谎言的效用。我们评估了不同情形，具体取决于代理 1 对其他代理人偏好的预测准确度。特别是，我们通过应用正态分布，随机生成其他代理人的实际偏好，该分布的平均值设定为假定偏好。我们生成了若干新实例，其中该分布的标准差较小；接着生成其他实例，其中标准差略大；如此反复，考察多种标准差。

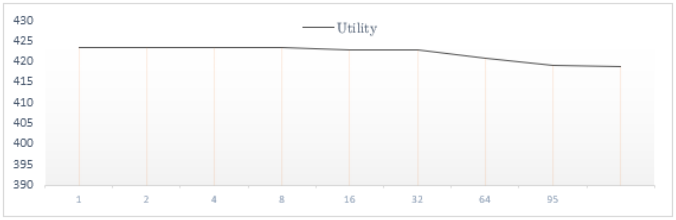


图7：不精确信息下无限制场景中的谎言

为了更清楚地了解不精确性如何影响代理 1 的效用，图7和图8展示了在不精确信息情境下使用 ULGA 找出的谎言所带来的效用提升。 x轴表示用于根据其他代理人的相应假定偏好随机构造其实际偏好的正态分布的标准差。

对于每一种新的偏离，我们都使用相应的偏离创建了 1,000 个替代效用场景。对于每个场景，我们计算了代理 1 使用真实偏好（即不说谎）所获得的收益，以及代理 1 在采用 ULGA 提供的谎言时所获得的收益；后者使用代理 1 对其他代理人偏好的假设（即应用正态分布之前的偏好）。然后，我们计算这 1,000 种情况的平均表现。

同样，我们先讨论无限制场景。图7展示了所得结果。具体而言，该图展示了代理 1 在使用谎言的同时，随着我们逐渐增大对其他代理实际偏好的偏离程度，其效用如何变化。如图所示，在我们改变偏离程度的过程中，该曲线相对平稳，直至 σ =32；这意味着，将偏离应用于不同偏好时会产生相同的效果。从这一点开始，效用略有下降。这说明，即使其他代理人的偏好与代理 1 估计的不同，代理 1 的谎言仍然有效（至少比说实话更有效）。请注意，即使我们应用标准差为 σ= 99.0 的正态分布，效用仍明显高于代理 1 的偏好向量 T 所获得的效用（该值为 221.08，可通过表4计算得出）。这一结果表明，无论代理 1 对其他代理人的偏好作出何种估计，向拍卖者说谎总是值得的。

转到有限场景后，我们在图8中看到的结果与无限制场景下得到的结果截然不同。这一次，我们将代理 1 使用 ULGA 提供的谎言时获得的总效用记为 A。此外，将代理 1 使用其真实偏好向量 T 时获得的总效用记为 A’。计算 A’-A 的结果后，我们会发现，偏差达到一定程度后，代理 1 就不值得向拍卖者传达谎言了。起初，在偏差较小时，差值仍为正。然而，即使偏差相对较小（ $\sigma = 4$），撒谎时获得的收益

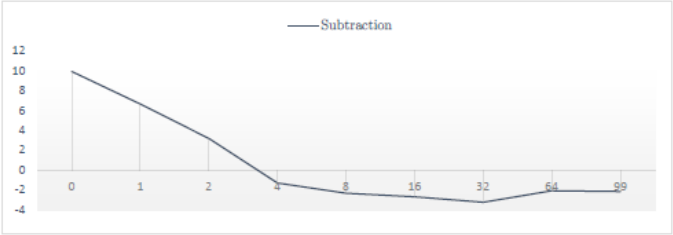


图8：有限场景中信息不精确时的谎言

也低于说实话时的收益。这一结果表明，当其他代理人的偏好与代理 1 估计的偏好非常相似时，撒谎是值得的；但若非如此，就没有撒谎的动机。也就是说，根据实验结果，在有限场景中，只有当对其余代理人偏好的估计与他们的实际偏好非常接近时，才值得尝试撒谎。

4 结论与未来工作

我们在无限制场景中得到的实验结果表明，代理 1 的最佳策略是谎报其对可用资源的偏好，将其高度低估（这与命题2一致）。这样一来，拍卖者就会被迫将代理 1 估值最高的 n-m 项资源分配给代理 1，从而使代理 1 获得尽可能高的效用。另一方面，在有限场景中进行的测试使我们得出结论：在这种情况下，所考虑的预定义策略都不起作用。代理 1 似乎没有其他可行策略，只能通过降低和提高其偏好来测试多种组合。尽管如此，有限场景并未能彻底消除谎言，因为我们的 ULGA算法能够为代理 1 找到虚假偏好，使其获得的收益高于如实报告真实偏好时的收益。此外，即使代理 1 对其伙伴偏好的估计与这些代理人的实际偏好相差甚远，在无限制场景中说谎仍然是最佳选择。换言之：在无限制场景中，说谎总是值得的。相反，在有限情形中，似乎没有明确的说谎策略。事实上，只有当我们对其他参与者偏好的估计非常准确时，才能找到适合向拍卖者谎报的内容。否则，只要估计出现相对较小的偏差，说谎所得结果就会比如实透露真实偏好时更差。

总而言之，尽管在我们的有限场景中，撒谎并未被完全消除动机，但从实践角度来看，我们可以得出结论：在这种场景下撒谎并无用处，因为我们需要非常详细地了解

其他参与者的偏好。因此，一项简单的规则修改——强制要求所有偏好之和等于某个常数——在实践中可以非常有效地避免在平等主义社会福利中出现撒谎行为。

参考文献

[1] R. Buyya、D. Abramson 和 S. Venugopal，《网格经济学》，*IEEE* 会议录，第 93 卷，第 3 期，第 698–714 页，2005 年。[2] X. León、T. A. Trinh 和 L. Navarro，《利用经济规制防止大规模共享基础设施中的资源拥塞》，未来一代计算机系统，第 26 卷，第 4 期，第 599–607 页，2010 年。[3] I. Rodríguez、F. Rubio 和 P. Rabanal，《自动媒体规划：最优广告投放问题》，载于*2016 IEEE*进化计算大会（*CEC*）。IEEE，2016 年，第 5170–5177 页。[4] I. Rodríguez、P. Rabanal 和 F. Rubio，《如何打造畅销产品：最优产品设计问题》，《应用软计算》，第 55 卷，第 178–196 页，2017 年。[5] S.-H. Chen、M. Kaboudan 和 Y.-R. Du，《牛津计算经济学与金融手册》。牛津大学出版社，2018 年。[6] G. Monaco、L. Moscardelli 和 Y. Velaj，《修正的分数享乐博弈中稳定结果在平等主义社会福利下的表现》，载于 *AAMAS'19*，2019 年，第 873–881 页。[7] D. Lehmann、R. Müller 和 T. Sandholm，《赢家确定问题》，《组合拍卖》，第 297–318 页，2006 年。[8] Y. Chevaleyre、P. Dunne、U. Endriss、J. Lang、M. Lemaître、N. Maudet、J. Padget、S. Phelps、J. Rodriguez-Aguilar 和 P. Sousa，《多智能体资源分配中的问题》，《*Informatica*》，第 30 卷，第 3–31 页，2006 年。[9] N. Nguyen、T. Nguyen、M. Roos 和 J. Rothe，《多智能体资源分配中社会福利优化的计算复杂性与可近似性》，《自主智能体与多智能体系统》，第 28 卷，第 2 期，第 256–289 页，2014 年。[10] U. Endriss、N. Maudet、F. Sadri 和 F. Toni，《协商实现资源的社会最优分配》，*CoRR*，第 abs/1109.6340 卷，2011 年。[11] L. M. Ausubel，《广义维克里拍卖》，马里兰大学，1999 年。[12] T. W. Sandholm，《维克里拍卖在计算多智能体系统中的局限性》，载于*ICMAS-96*，1996 年，第 299–306 页。[13] M. H. Rothkopf，《维克里–克拉克–格罗夫斯机制不实用的13个理由》，《运筹学》，第 55 卷，第 2 期，第 191–197 页，2007 年。

[14] B. Xing 和 W.-J. Gao，《创新计算智能：134种巧妙算法简明指南》，2014 年。[15] P. Rabanal、I. Rodríguez 和 F. Rubio，《河流形成动力学的应用》，计算科学杂志，第 22 卷，第 26–35 页，2017 年。[16] F. Rubio 和 I. Rodríguez，《水基元启发式算法：水动力学如何助力解决NP难问题》，*Complexity*，第 2019 卷。[17] M. Roos 和 J. Rothe，《多智能体资源分配中社会福利优化的复杂性》，载于*AAMAS'10*，2010 年，第 641–648 页。[18] I. Bezáková 和 V. Dani，《分配不可分物品》，*SIGecom Exch.*，第 5 卷，第 3 期，第 11–18 页，2005年4月。