

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：基于成本最小化信息的社会性意图识别：来自脑电和行为的证据

作者：林静，黄量杰成，何耘丰，段继鹏，尹军

第一轮

审稿人 1 意见：

本研究基于已有的研究方法，通过动画的方式进行社会性（或非社会性）互动的呈现，同时记录过程中的 μ 节律效应的变化。研究问题清晰，有理论和应用的价值；研究方法合理可靠，数据分析过程得当，结果清晰，是个出色的研究。不过本研究在发表之前，本人认为还需要对相关内容做一定的调整和增补，相关修改意见如下：

意见 1：

在引言中，研究者提到 μ 节律在研究社会性意图中的作用，但这一部分没有得到充分的展开。考虑到后面对结果解释的相关内容与之有直接关联，本人希望作者能够在引言中更加详细地探讨 μ 节律在不同研究场景下的应用，以及对其效应的相关理论解释。

回应：

非常感谢审稿专家的建议，已根据建议在文中进行补充。相关补充内容如下：Oberman, Pineda 与 Ramachandran(2007)的一项研究为 μ 节律可指示社会性意图加工提供了直接证据，实验中要求被试观看无社会性意图的行为(即三个人各自向自己抛球的个体行为)与有社会性意图的互动行为(三个人互相扔球)。结果发现，观看有社会性意图视频的 μ 抑制程度强于观看无社会性意图的视频(Oberman, Pineda, & Ramachandran, 2007)。最近的一项研究也为社会性意图比客体导向性意图诱发更强的 μ 抑制提供了证据。在该研究中，研究者设计了具有社会性意图的给予行为，即智能体 A 将苹果转移到智能体 B 前，将其与智能体 A 将苹果转移到石头前的行为进行对比，结果发现观看前一视频诱发的 μ 节律抑制程度更高(Yin, Tatone, & Csibra, 2020)。因此，当感知到社会性意图时，相比客体导向性意图，大脑产生了更强的 μ 抑制。究其原因，研究发现，由于对社会性意图的识别需同时考虑两个主体的行为，该加工相比只包含单个个体的客体导向性意图的加工，对镜像神经系统的需求更高，因此激活也更强(Centelles, Assaiante, Nazarian, Anton, & Schmitz, 2011)，而镜像神经系统的活动可体现在 μ 节律的抑制上，因此 μ 抑制的强度可用来测量被试对行为意图的识别类型(Oberman, Pineda, & Ramachandran, 2007; Yin, Tatone, & Csibra, 2020)。

意见 2:

在研究方法部分，研究者提到“之后，以运动开始前 200ms 的能量值作为基线，对运动阶段 2000ms 的能量值进行基线矫正”，是否是指刺激开始运动前 200ms 到刺激开始运动，以及刺激开始运动，到运动后 2000ms？望明确之。

回应:

修改稿已对其明确。原稿中提到的“以运动开始前 200ms 的能量值作为基线，对运动阶段 2000ms 的能量值进行基线矫正”是指以刺激开始运动前 200ms 的能量值作为基线，对每个分段数据(即开始运动前 200ms 至开始运动后 2000ms)的能量值进行基线矫正。根据审稿专家 2 的建议，基线需要“包含兴趣波段至少三个完整 cycle 的长度”，故修改稿将基线调整为开始运动前 500ms，以满足这一要求，并对数据进行了重新分析。

意见 3:

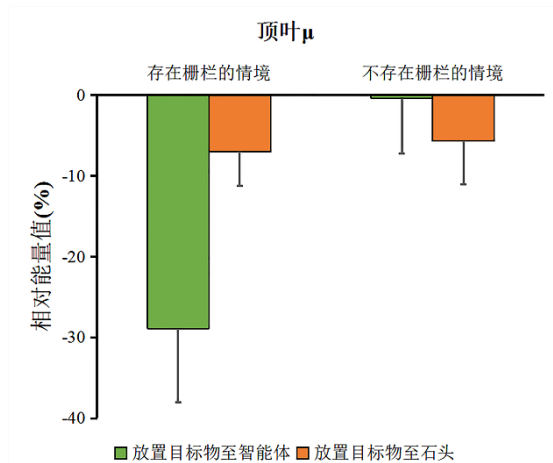
在结果中的一个核心问题在于，实验二中动画没有传递明确的社会性意图信息，然而在不同的条件 μ 节律都呈现了抑制性的变化。尽管作者在讨论中对相关结果进行了讨论，但是这一讨论以解释为主。故本人希望作者能通过进一步的数据分析，以及相关研究设计的进一步讨论，来更深入地分析这一问题。具体来说，本人希望作者能够：1) 将实验一和实验二的 μ 节律变化进行跨实验的统计分析；2) 讨论采用被试内设计，从而整合实验一与实验二的可能性，并对相关结果进行预测。

回应:

非常感谢审稿专家的建议。结合两位审稿专家的意见，修改稿采用相对能量值，即(动画呈现阶段的 μ 频段能量-基线阶段的 μ 频段能量)/基线阶段的 μ 频段能量 $\times 100\%$ ，作为因变量进行分析，结果发现实验二两个条件的 μ 抑制均与实验一中智能体 A 将苹果放置在石头面前的抑制程度相当。具体而言，合并 C3 和 C4 电极上的数据，形成 2(实验：实验一(有栅栏)与实验二(无栅栏)；被试间变量) \times 2(放置目的地：智能体与石头；被试内变量)的实验设计，对顶叶的 μ 频段能量进行方差分析，发现实验和放置目的地的交互作用显著， $F(1, 38) = 4.27, p = 0.046, \eta_p^2 = 0.10$ 。且就智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前，当存在栅栏时所诱发的 μ 抑制显著($M = -17.3\%, SE = 3.6\%$)强于不存在栅栏的情景($M = -4.8\%, SE = 5.6\%; t(38) = 1.89, p = 0.034, \text{Cohen's } d = 0.60$ ，其为单尾检验)，而在智能体 A 将苹果放置在石头前时该差异消失($t(38) = 0.28, p = 0.390, \text{Cohen's } d = 0.09$)。该结果提示实验操纵调节不同动作模式下顶叶的 μ 频段能量，传递社会性意图行为(即存在栅栏时，智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前)所诱发的 μ 抑制更强，进一步支持实验一的结果确实由于动作识别结果的不同所致。

若采用原稿中绝对能量值作为因变量进行分析,虽然发现实验和放置目的地的交互作用显著, $F(1, 38) = 4.89, p = 0.033, \eta_p^2 = 0.11$, 但对于智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前的条件, 当存在栅栏时所诱发的 μ 抑制($M = -254.75, SE = 109.49$)与不存在栅栏情景($M = -233.24, SE = 116.23; t(38) = 0.14, p = 0.447, \text{Cohen's } d = 0.04$, 其为单尾检验)差异不显著, 且在智能体 A 将苹果放置在石头前时存在栅栏与否所诱发的 μ 抑制也不存在显著差异($t(38) = 1.11, p = 0.863, \text{Cohen's } d = 0.35$)。鉴于当智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前存在栅栏与否所诱发的 μ 抑制无显著差异(具有存在栅栏诱发的 μ 抑制强于不存在栅栏情景的趋势), 采用绝对能量值可能呈现出实验二中所有条件都被识别为社会性意图, 但该解释与控制条件(智能体 A 将苹果放置在石头前)已被普遍证明识别为客体导向性意图相悖。结合相对能量值作为因变量分析结果, 笔者认为原稿中图 5 所呈现的结果模式可能与被试间的差异有关。每个被试由于头皮厚度不同以及电阻不同可能导致 μ 频段激活的被试间差异(审稿专家 2 也提到了这一观点), 根据已有研究(Cuevas, Cannon, Yoo, & Fox, 2014; Pfurtscheller & Silva, 1999), 采用相对能量值, 即(动画呈现阶段的 μ 频段能量-基线阶段的 μ 频段能量)/基线阶段的 μ 频段能量 $\times 100\%$ 作为 μ 的能量值, 可有效的控制被试间差异。修改稿对这一问题在讨论部分进行了阐述。

在开展本文所报告的被试间设计实验前, 笔者也采用被试内设计收集了 10 个被试, 但每个被试均报告有无栅栏的情境对比明显, 猜测实验者设置栅栏是有目的的, 因此调整成了被试间设计。更重要的是, 对于智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前, 有无栅栏情境在物理层面存在差异(栅栏的遮挡不同), 直接对比所发现的 μ 抑制差异可被物理层面的影响所解释。因此, 将是否存在栅栏时智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前分别与控制条件进行比较, 即目前的被试间设计。关于被试内设计收集的 10 被试, 其结果如下图所示。鉴于样本量较少, 采用非参数检验(将 C3 和 C4 电极上的平均 μ 相对能量值作为因变量), 结果发现, 存在栅栏时, 放置至智能体的激活显著强于放置至石头(Wilcoxon $W = 5.00, p = 0.020, \text{Cohen's } d = 0.82$); 而不存在栅栏时, 激活不存在显著差异(Wilcoxon $W = 34.00, p = 0.557, \text{Cohen's } d = 0.24$); 且当智能体 A 将苹果放置至智能体 B 时, 有栅栏时的 μ 激活存在显著强于没有栅栏时激活的趋势(Wilcoxon $W = 9.00, p = 0.064, \text{Cohen's } d = 0.67$)。该结果模式与修改稿中报告的结果一致, 进一步支持了基于成本最小化信息的社会性意图识别的假设。修改稿对这一问题在讨论部分进行了阐述。



审稿人 2 意见：

本文通过两个实验检验了最小化成本信息对社会性行为意图的影响，利用 EEG 的方法和 m 波段的抑制效应为指标，发现了成本最小化信息确实可以影响人们对动作意图的识别。总体来说，作者对实验进行了严格的控制，文章有着明确的实验假设，方法得当，写作简单易懂。我只有几个 minor 的意见望作者予以采纳和并对文章进行简单修改。

意见 1：

作者只用了 ICA + ADJUST 对数据进行了噪音（artifacts）处理吗？通常脑电数据处理时，会结合 ICA 和传统的噪音剔除法，例如 >100 or <-100 mV。且我个人经验，adjust 不能完美的把所有噪音 ICA 去除，只能处理掉大部分，但偶尔也会去除掉非噪音的 ICA 成分。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。笔者采用传统的分析方法剔除噪音试次，即波幅超过 $\pm 100\mu V$ 的试次被剔除，在此基础上对 μ 频段能量进行分析，其结果与采用 ADJUST 插件删除噪音法所得结果相同。修改稿以脚注的方式对这一点进行了阐述。结合审稿专家 2 的第二个和第三个审稿意见，采用 500ms 长度作为基线并计算相对能量值，具体结果如下：

(1) 实验一

对 μ 能量值进行 2(电极: C3 与 C4) \times 2(放置目的地: 智能体与石头) 的重复测量方差分析，结果发现: 仅有放置目的地的主效应显著, $F(1, 19) = 10.30, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.35$, 差异的 95% CI = $[-13.1\%, -2.8\%]$, 其中当动态智能体将苹果放置在静态智能体(智能体 B)前时, μ 频段能量 ($M = -16.8\%, SE = 3.9\%$) 显著强于(抑制程度更高)将其放置在静态石头前 ($M = -8.9\%, SE = 4.3\%$); 电极的主效应不显著, $F(1, 19) = 0.89, p = 0.359, \eta_p^2 = 0.05$, 差异的 95% CI = $[-9.8\%, 3.7\%]$; 电极与放置目的地的交互作用不显著, $F(1, 19) = 0.10, p = 0.758, \eta_p^2 < 0.01$ 。

枕叶 α 频段能量作为因变量, 2(电极: O1 与 O2) \times 2(放置目的地: 智能体与石头)的重复测量方差分析结果发现: 电极的主效应($F(1, 19) = 1.48, p = 0.238, \eta_p^2 = 0.07$)、放置目的地的主效应($F(1, 19) = 0.08, p = 0.787, \eta_p^2 < 0.01$)以及二者的交互作用($F(1, 19) < 0.01, p = 0.948, \eta_p^2 < 0.01$)均不显著。该结果提示, 不同类型动画所诱发的 μ 能量差异并非枕叶 α 活动的泛化。

(2)实验二

以 μ 频段相对能量为因变量, 2(电极: C3 与 C4) \times 2(放置目的地: 智能体与石头)的重复测量方差分析发现: 电极的主效应不显著, $F(1, 19) = 3.32, p = 0.084, \eta_p^2 = 0.15$, 差异的 95%CI = [-11.1%, 0.8%]; 放置目的地的主效应不显著, $F(1, 19) = 1.33, p = 0.264, \eta_p^2 = 0.07$, 差异的 95%CI = [-4.1%, 14.0%]; 二者的交互作用也不显著, $F(1, 19) = 0.64, p = 0.434, \eta_p^2 = 0.03$ 。

同时, 就枕叶 α 频段能量而言, 2(电极: O1 与 O2) \times 2(放置目的地: 智能体与石头)的重复测量方差分析未发现任何效应显著。其中, 电极的主效应($F(1, 19) = 0.26, p = 0.614, \eta_p^2 = 0.01$)、放置目的地的主效应($F(1, 19) = 0.73, p = 0.405, \eta_p^2 = 0.04$)以及二者的交互作用($F(1, 19) = 1.01, p = 0.327, \eta_p^2 = 0.05$)均不显著。

为进一步检验实验一的结果确实由于动作识别的差异所致, 合并 C3 和 C4 电极上的数据, 形成 2(实验: 实验一与实验二; 被试间变量) \times 2(放置目的地: 智能体与石头; 被试内变量)的实验设计, 对顶叶的 μ 频段能量进行方差分析。结果发现, 实验的主效应不显著, $F(1, 38) = 2.58, p = 0.117, \eta_p^2 = 0.07$; 放置目的地的主效应也不显著, $F(1, 38) = 0.25, p = 0.619, \eta_p^2 < 0.01$; 但两因素的交互作用显著, $F(1, 38) = 6.89, p = 0.013, \eta_p^2 = 0.16$ 。且就智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前, 当存在栅栏时所诱发的 μ 抑制显著($M = -16.8\%, SE = 3.9\%$)强于不存在栅栏的情景($M = 0.1\%, SE = 5.8\%$; $t(38) = 2.43, p = 0.010$, Cohen's $d = 0.78$, 其为单尾检验), 而在智能体 A 将苹果放置在石头前时该差异消失($t(38) = 0.53, p = 0.300$, Cohen's $d = 0.17$)。该结果提示实验操纵调节不同动作模式下顶叶的 μ 频段能量, 进一步支持实验一的结果确实由于动作识别结果的不同所致。

意见 2:

Frequency analysis 时, 200 ms 的基线是否过短? 通常 time frequency analysis 的基线要满足“包含兴趣波段至少三个完整 cycle 的长度”的标准。也就是说, 对于 alpha 和 m 波段, 300 – 500 ms 甚至到 1s 的基线比较合适。这样, 基线的 m 的 power 才比较准确, 也就能更好的体现 desynchronization 的抑制效果。我建议作者们用 500ms 长度作为基线做下分析, 看看主要结果是否不变。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。已根据专家建议，为保证包含目标分析频段至少三个完整的波长，采用 500ms 长度作为基线进行分析，结果与之前采用 200ms 长度作为基线进行分析的结果一致。修改稿所报告的结果均采用 500ms 长度作为基线。

意见 3：

Fox 及其同事们在计算 m 抑制作用时，通常不用简单的“呈现阶段 - “基线阶段”的差异，而是（呈现阶段 - “基线阶段”）/ 基线阶段，再乘以 100. 这样的标准化 formula 来控制 individual differences in m power，尤其是在被试为儿童的时候（因为头皮和头骨的厚度在变化，会影响 EEG power）。基于本实验的被试均为成人，我觉得作者不必再重新用新的公式进行数据分析，但应该在 method 和 discussion 里面对于不同的计算方法进行简单讨论。

回应：

非常感谢审稿专家的建议。参照审稿专家推荐的相关研究(Cuevas, Cannon, Yoo, & Fox, 2014; Pfurtscheller & Silva, 1999)，修改稿采用(动画呈现阶段的 μ 频段能量-基线阶段的 μ 频段能量)/ 基线阶段的 μ 频段能量 $\times 100\%$ 作为 μ 的能量值，对数据重新进行了分析，其结果模式与原分析基本相当，且发现实验二中两个条件 μ 抑制程度与实验一中控制条件相当。相关结果详见正文。

意见 4：

图五种的 error bars 代表的什么？95%CI, standard deviation or standard error of mean?

回应：

图五中的误差线代表标准误，已在文中进行说明。

意见 5：

我对实验结果有一个疑问：为什么实验一中（也就是存在栅栏的情况），放置目标智能体的 condition 所引起的 m suppression（也就是图 5 中绿色的 bars）并没有比实验二中（也就是不存在栅栏的情况）同 condition 所引起的 m suppression 强烈？简单讲就是：为什么 C3 和 C4 的 m suppression（图 5 中绿色的 bars）在实验一和二之间没有区别？我有这个疑问是因为：如果如作者们所讲，实验一中存在最小化成本信息对社会性行为意图的影响，而实验二中不存在此影响，那么实验一中的 m suppression 应该比实验二的强烈，也就是绿色的 bars 应该更低。但实验结果没有支持这一假设。请作者们做出解释。

回应：

结合相对能量值作为因变量分析结果，笔者认为原稿中图 5 所呈现的结果模式可能与被

试间的差异有关。每个被试由于头皮厚度不同以及电阻不同可能导致 μ 频段激活的被试间差异，根据已有研究(Cuevas, Cannon, Yoo, & Fox, 2014; Pfurtscheller & Silva, 1999)，采用相对能量值，即将(动画呈现阶段的 μ 频段能量-基线阶段的 μ 频段能量)/基线阶段的 μ 频段能量 $\times 100\%$ 作为 μ 的相对能量值，可有效的控制被试间差异。因此，修改稿采用相对能量值作为因变量进行了分析，结果发现，实验和放置目的地的交互作用显著， $F(1, 38) = 4.27, p = 0.046, \eta^2_p = 0.10$ 。且就智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前，当存在栅栏时所诱发的 μ 抑制显著($M = -17.3\%, SE = 3.6\%$)强于不存在栅栏的情景($M = -4.8\%, SE = 5.6\%; t(38) = 1.89, p = 0.034, \text{Cohen's } d = 0.60$ ，其为单尾检验)，而在智能体 A 将苹果放置在石头前时该差异消失($t(38) = 0.28, p = 0.390, \text{Cohen's } d = 0.09$)。该结果提示实验操纵调节不同动作模式下顶叶的 μ 频段能量，传递社会性意图行为(即存在栅栏时，智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前)所诱发的 μ 抑制更强，进一步支持实验一的结果确实由于动作识别结果的不同所致。修改稿对这一问题在讨论部分进行了阐述。

第二轮

审稿人 1 意见：

作者已对本人问题做出了充分的回应和修改，建议发表

回应：

感谢审稿专家的辛勤付出和积极评价。

审稿人 2 意见：

The authors have addressed all my questions.

回应：

感谢审稿专家的辛勤付出和积极评价。

编委复审：

意见 1：

作者按照审稿人意见做了修改，确实有很大提高，但是我认为有一个关键的问题，作者没有很好解决。作者将成本最小化等同于社会性意图，这个作者在讨论中也提到了这和一般认知相悖，作者在讨论中做出的解释无法解释本研究中为什么就可以将这两者等同起来，所以大大削弱了本研究结果的解释效力。

回应：

感谢编委的意见。正如编委所言，这一问题若未能清晰阐明，将大大削弱本研究的解释效力。本文旨在针对社会性意图的识别提出一种可用的线索：成本最小化信息，但并不排除

存在其他线索的行为场景可被识别为社会性意图。即成本最小化信息是识别社会性意图的充分条件，而非必要条件。原稿中的表达容易让读者误解为二者等同，因此修改稿对相应的表达进行了调整，并阐述了成本最小化信息和社会性意图的关系。

针对讨论部分提及的相悖，修改稿也对其进行了修改，重点论述了成本最小化信息是社会性意图识别的重要线索，其也可能与其他线索并存，以及经验的可能作用。

意见 2:

另外还有一些写作上的小错误，比如 2.5 中的 MATLAT 应该是 MATLAB。

回应:

感谢编委的意见，已在文中进行修改。作者对全文进行了仔细检查，并对写作上的可能小错误进行了更正。

第三轮

编委复审意见:

作者对我的问题作出了回答，认为不存在成本最小化信息是社会性意图的充分而非必要条件，这个解释有一个缺点是无法解释实验二中为什么没有社会性意图，作者提供了一些解释，但是总体上我认为只能表达说在实验二条件下社会性意图可能是因人而异，不一定会发生，这样我就会期望观测到一定的社会性意图表现出来(组平均值应该有所体现才对，也许小而且不显著，但现在是完全没有甚至反过来),总体上我认为作者将 μ 激活作为社会性意图的唯一测量指标有一些担心，不知道作者是否有其他的测量指标作为辅助证据，否则我认为在这里是一种危险的推论， μ 激活更大就是社会性意图,这种社会性意图就是由成本最小化信息驱动，没有成本最小化信息就没有社会性意图,没有更强的 μ 激活(后面这句作者没有明确的这样讲，但从文中结果看是这个意思)。作者提供的直接证据是成本最小化信息和 μ 激活的关系，作者需要提供更强的连接证据,把社会性意图和这两者连接起来。建议继续修改。

回应:

感谢编委的意见。如编委所言，将 μ 激活作为社会性意图感知的唯一指标可能不具有很强的信服力。因此，作者在开展这一脑电研究的同时还基于变化觉察范式，采用行为指标(测量被试对不同变化类型的敏感性)，考察其所识别的意图类型，但这一结果在原有的稿件内容中并未进行报告。鉴于 μ 激活只是间接测量证据，本研究还需提供更多的证据以检验结论，故修改稿中增加了行为实验证据。具体而言，本研究采用变化觉察范式，要求被试观看并记忆 4 个相同动作模式的动画(记忆项)，但每个动画中智能体的外观不同，之后要求被试判断

检测阶段的动画(检测项)是否在记忆项中出现过。其中,检测项呈现不同的变化类型,包括:无变化、记忆项中某个动画中两个智能体的角色交换(即 A 将苹果放置在智能体 B 前变成 B 将苹果放置在智能体 A 前,简称为角色交换)、记忆项中某两个动画间充当相同角色的智能体互换(即 A 将苹果放置在智能体 B 前和 C 将苹果放置在智能体 D 前,变为 C 将苹果放置在智能体 B 前,简称为结构改变)。已有研究证实,与格式塔组织相似,两个存在社会交互意图的个体在工作记忆中会被组织在一起,并作为整体单元分组进行存储(Stahl & Feigenson, 2014; Vestner et al., 2019; Ding et al., 2017)。鉴于分组可提升对跨整体结构间的区分度但使得结构内的元素容易混淆(Papeo et al., 2020; Sedikides, Olsen, & Reis, 1993; Sheerman, Castelli, & Hamilton, 2002; Suzuki & Cavanagh, 1995),可推测当智能体 A 与 B 有交互意图时,相比无交互意图时,由于 A 与 B 被整合成一个具有交互关系的单元,人们更容易辨别其结构改变,而对角色交换不敏感,呈现记忆混淆效应。

基于这一测量逻辑,结果发现:存在栅栏的情境下,在角色交换条件下,被试对放置目的地为石头($M = 1.97, SE = 0.25$)条件的辨别力显著高于放置目的地为智能体的条件($M = 1.38, SE = 0.24; t(19) = 2.33, p = 0.031, \text{Cohen's } d = 0.52$);相反,当变换类型为结构改变时,放置目的地为智能体条件下($M = 2.04, SE = 0.21$)辨别力显著高于放置目的地为石头的条件($M = 1.51, SE = 0.23; t(19) = 3.21, p = 0.005, \text{Cohen's } d = 0.72$),呈现记忆混淆效应。然而,当不存在栅栏时,上述效应消失,所有条件下均发现角色交换条件($M = 2.09, SE = 0.25$)的辨别力显著高于结构改变($M = 1.42, SE = 0.22$)。概言之,当智能体 A 将苹果放置在智能体 B 前,其动作减少了智能体 B 获取该苹果的动作成本,即符合成本最小化条件时,被试对角色交换的辨别力低于控制条件——某智能体将苹果放置在别处,对结构改变的辨别力高于控制条件(实验三 a);而当栅栏不存在时,虽然智能体 A 的运动路径与实验三 a 相同,但智能体 A 将目标物苹果放置在智能体 B 前的成本大于智能体 B 自身获取苹果的成本,即不符合成本最小化条件,实验条件和控制条件在角色交换或结构改变下的辨别力无差异(实验三 b)。

上述实验表明,记忆混淆效应出现在了当智能体 A 将苹果放置在被栅栏围住的智能体 B 前时(满足成本最小化条件),这提示其被识别为具有社会性意图,进一步验证了基于脑电获得的结论。相关实验流程和结果详见修改稿的实验三 a 和实验三 b。

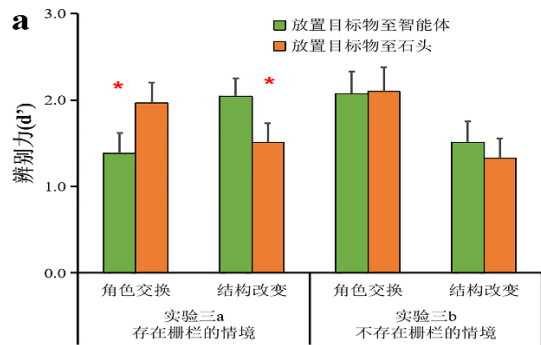


图 1 实验三 a 和实验三 b 中不同条件下辨别力 d' (误差线代表标准误)

第四轮

编委复审：

意见 1：

作者增加了一个变化检测实验，再次发现有无栅栏影响被试对社会性意图的识别，但是这个并没有回答我之前提出的关键问题，社会性意图、成本最小化信息、 μ 的抑制程度究竟是什么关系， μ 的抑制程度究竟是反映社会性意图的指标，还是反映成本最小化信息的指标？请作者注意，作者自己也指出社会性意图不等于成本最小化信息。请解释清楚这个关系。

回应：

感谢编委的意见。修改稿对相应的表述进行了调整，以使得成本最小化信息、社会性意图与脑电指标 μ 的抑制程度三者之间的关系更清晰。为方便理解，基于不同概念之间的关系，制作了下图 1。

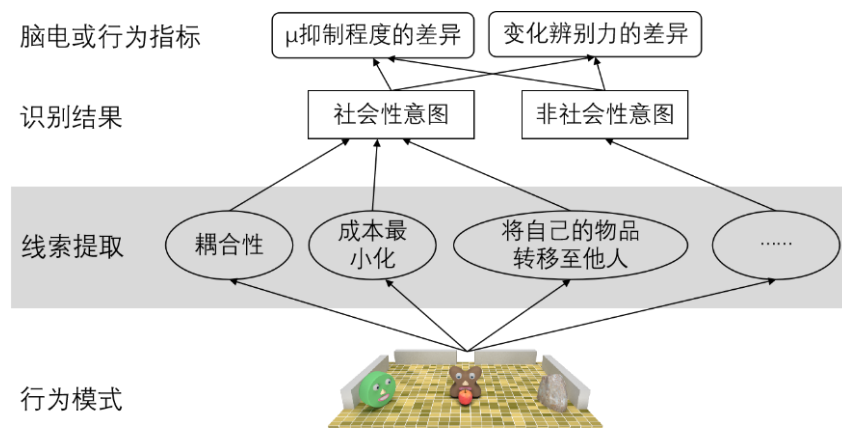


图 1 不同概念之间的关系图

本研究中成本最小化信息、社会性意图、 μ 的抑制程度这三者之间存在着如下的关系：成本最小化信息是从观察到的行为模式中提取到的线索，就如耦合性线索；借助这一线索，

人们做出该情景下两个智能体间具有社会性意图的解释,这一加工过程类似于:个体表现出的扩张姿势促使观察者做出其拥有高权力的解读(Schwanenflugel et al., 1992; Carney, 2005)。与此同时,脑电信号中 μ 抑制程度的高低可被当作观察者是否做出社会性意图识别结果的指标,就如用 N400 指标来测量语义表征(Frithkoff, 2007)、用 CDA(对侧延迟活动)指标来测量工作记忆表征等(Vogel et al., 2001)。就测量逻辑而言,相比对只涉及单个个体的非社会性意图进行加工,由于社会性意图加工需同时考虑两个主体的行为,该加工过程对镜像神经系统的需求更高,相应的,该系统的激活也会增强(Centelles et al., 2011),而镜像神经系统的活动增强可体现在 μ 节律的抑制上,因此 μ 抑制强度可用来指示被试是否将观察到的行为识别为具有社会性意图(Oberman et al., 2007; Yin et al., 2020)。其中,相比非社会性的客体导向意图行为,若观看某行为产生更强的 μ 抑制,则可说明其被识别为具有更强的社会性意图,且这一指标已成功应用于社会交互意图识别的相关研究(Oberman et al., 2007; Yin et al., 2020)。由于 μ 抑制程度是对社会性意图的间接测量指标,其对实验结论的支撑力度有限,因此本研究还增加了行为指标(即对变化的辨别力),以从多角度来以对假设进行检验。

意见 2:

另外建议作者尽量精简一些文字内容,还有在引言中没有很好说明社会性意图和 μ 的抑制程度的关系,对于“智能体 A 将苹果转移到智能体 B 前,将其与智能体 A 将苹果转移到石头前的行为进行对比,结果发现观看前一视频诱发的 μ 节律抑制程度更高(Yin, Tatone, & Csibra, 2020)。”这部分描述不太清楚,而且 Yin 的发现是在没有在本研究中重复出来吗?本研究中只有加上栅栏才有 μ 的抑制程度加大。

回应:

修改稿已对前言进行精简,且就社会性意图和 μ 的抑制程度关系的表述进行了完善,希望此次修改的表述能比较清晰的阐述二者的关系。

关于 Yin 等(2020)的研究,其条件设置与本文存在差异。Yin 等对比了人们识别和表征给予行为(智能体 A 将自己面前的苹果转移到智能体 B 面前)与拿取行为(智能体 A 将智能体 B 面前的苹果转移到自己面前)的差异,结果发现前者诱发的 μ 节律抑制程度显著强于后者,且后者与非社会性的行为(即智能体 A 将自己面前的苹果转移到石头前)在 μ 节律抑制程度上无显著差异,揭示“将自己的物品转移至他人”是社会性意图识别的线索之一。因此,就 μ 激活模式而言,本研究重复了 Yin 等人的发现,即 μ 抑制程度随着所识别到的社会性意图的变强而增强。然而,在 Yin 等人的研究中,苹果是在智能体 A 的面前,且无论是 A 转移苹果

的成本还是 B 自己拿苹果的成本都相同，而关键在于智能体 A“将自己的物品转移至他人”这一线索引发了社会性意图的识别，而本研究并无“转移自己的苹果”的动画设置，而是对成本最小化这一线索进行了操纵。修改稿中增加了前述讨论，以进一步明晰本研究和 Yin 等研究的异同。

第五轮

编委复审：

意见 1：

作者将成本最小化信息、社会性意图与脑电指标 μ 的抑制程度三者之间关系画了一个图，我建议将这个图修改得更清楚，比如现在社会和非社会意图都会影响 μ 的抑制和变化检测。这个究竟是什么关系，如果按图上得表示就无法区分社会和非社会意图。

回应：

感谢编委的意见。根据建议，现已对关系图做了修改(图 1)，进一步明确了意图识别结果与指标之间的关系，希望此次修改能更清楚地阐明不同概念之间的关系。

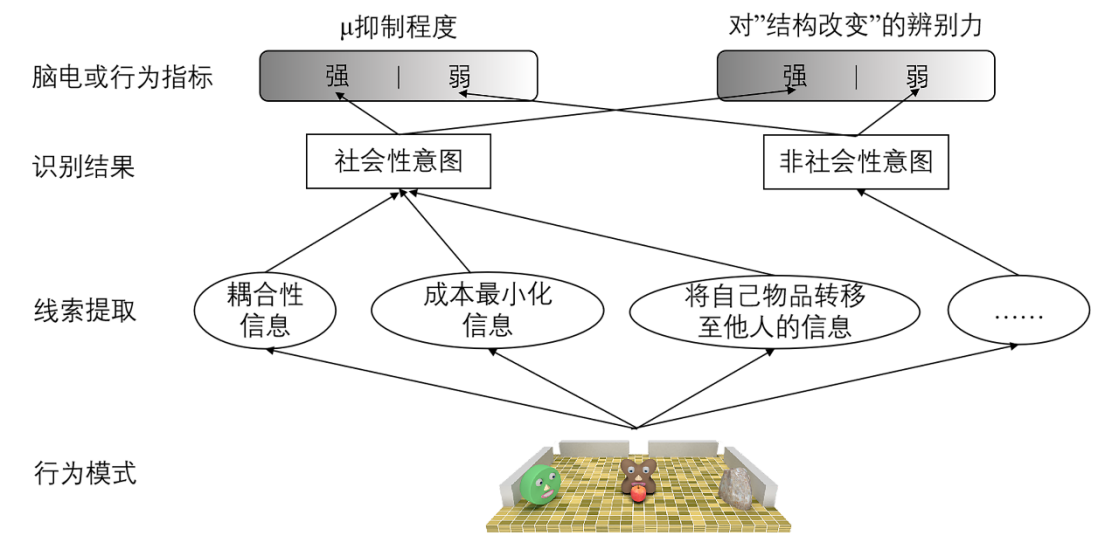


图 1 不同概念之间的关系图

(注：脑电指标或行为指标颜色越深代表 μ 抑制程度越强或对“结构改变”的辨别力越强)

意见 2：

另外，建议把引言精简下来，和这个图结合起来说明，现在引言太长了，需要较多精简。实验部分也请尽量精简，有一些具体方法和不重要的结果可以考虑放在附录中。

回应：

感谢编委的意见。修改稿已对前言进行了精简，并将部分与结论相关度较低的实验结果

放在了附录(附于文末), 其也可在 OSF 平台

https://osf.io/jfvxu/?view_only=c76000bc9a4b4f009151638441e79c99 获取。

第六轮

编委复审意见:

摘要中的控制条件应说明清楚都是指一样的, 还是不同的意思。另外还是很长, 建议继续精简一些, 建议修改后发表。

回应:

感谢编委的意见。上一版本中摘要的表述未能清楚指明控制条件。在四个实验中, 控制条件均为智能体 A 将目标物苹果放置在石头面前(典型的客体导向性意图)。现已对摘要相关部分进行了修改。

此外, 为缩减文章篇幅, 在尽量保证原意的前提下, 修改稿中对文章前言、讨论等部分进行了精简。

主编终审:

该论文借助 u 的指标, 探讨基于成本最小化信息的社会性意图识别。该论文研究问题具有较高的理论价值和创新性, 研究设计合理, 写作简洁易懂, 是一篇高质量的论文, 两位审稿人均给予了较高评价。经过几轮修改后, 一些小问题也得到了明显改进, 同意发表。