

基于协作任务的空间参照系整合表现*

祁培李晶

(南京师范大学心理学院, 南京 210097)

摘要 本研究通过 3 个实验, 探讨了空间协作任务中个体空间参照系表征的规律以及促进参照系整合的条件。在每项实验中, 被试先进行空间场景的协作学习, 再单独进行相对方向判断任务。实验 1 的学习中被试与协作伙伴的位置夹角为 45°, 实验 2 中两者夹角为 135°, 实验 3 的夹角与实验 2 相同, 但中途伙伴提前离场。结果发现: (1) 空间协作任务中的参照系表征形式有多种, 单一参照系表征以及多参照系表征都可能出现; (2) 空间协作中的参照系整合受到协作伙伴位置的调节, 与站在身侧相比, 和伙伴近似面对面的角度更有利于被试完成参照系整合; (3) 当协作伙伴减少在场时间时, 被试仍可完成参照系整合, 只是与伙伴全程在场的情况相较, 伙伴在复原阶段后的离开促使被试形成了更深刻的伙伴视角表征。

关键词 空间参照系, 空间视角采择, 空间协作, 参照系整合

分类号 B842

1 引言

1.1 空间参照系

生活中, 为了更好地进行空间定位和空间巡航, 人们常常需要在脑海中建立一个空间坐标系即空间参照系来表征环境中的物体以及他人的位置 (Shelton & McNamara, 2001)。自从该概念被提出以来, 吸引了众多研究者的深入探索。这些研究可大致归为两大方向: 一是聚焦于自我中心参照系与非自我中心参照系在认知中的主导地位 (Klatzky, 1998; Mou et al., 2008; 谢超香等, 2009), 二是探讨在不同研究条件下, 个体如何选择和构建空间参照系 (Hatzipanayioti & Avraamides, 2021)。前者丰富了空间参照系的理论框架, 为构建全面的空间参照模型奠定了坚实基础; 后者则深化了我们对多种因素如何塑造空间参照系表征的认识, 为诸如语音导航、人机交互等领域的实际应用提供了科学依据和有效指导。这些可能影响空间参照系构建的条件可以分为主客体两种类型。其中, 主体的空间参照偏

好、与场景有关的经验(如, 观察场景时所用的第一个视角)对其建立空间参照系有重要影响(Christou & Bühlhoff, 1999; Mou et al., 2007; Simons & Wang, 1998; Valiquette et al., 2003)。此外, 主体外的因素如场景内在轴、物体朝向以及场景中的他人也会影响到个体空间参照系的建立(Freundlieb et al., 2017; 李晶, 张侃, 2011; 赵民涛, 牟炜民, 2005)。但这些研究大多数集中于单一被试单独学习某一场景, 该学习是静态的且没有他人存在; 而在现实生活中, 我们的很多行为是动态的, 需要与他人发生交互, 甚至依赖双方协作才能完成。因此在与他人协作完成某项任务时, 个体如何建立空间参照系, 对任务的顺利推进而言是至关重要的。Schafer 和 Bowman (2004)的研究已经证实, 参照系的选择会影响空间协作的效率, 且这种影响与协作任务的要求密切相关。目前, 关于协作任务中个体空间参照系的建立机制, 相关研究仍有待拓展; 同时, 协作任务中哪些因素能够促进个体表征他人视角, 并将对方的参照系整合到自身的空间参照系中, 这些问题均为本

收稿日期: 2025-07-05

* 教育部人文社会科学研究规划基金项目(24YJA190007), 国家自然科学基金面上项目(42371444), 江苏省高校哲学社会科学实验室——南京师范大学青少年教育与智能支持实验室基金支持。

通信作者: 李晶, E-mail: lij@njnu.edu.cn

研究拟进一步探讨的核心内容。

当空间场景中有他人存在时,被试的空间参照系表征也会受到一定影响,但他人对个体空间表征的影响也需要一定条件。Freundlieb 等人(2017)指出,只有当被试感知到他人的视线也落在场景中的时候才能产生自发的视角采择(想象自己站在他人视角观看空间场景)。谢宁(2020)也发现,当学习场景中的他人只是单纯存在时,被试不能表征其视角;但当他人简单地用语言描述场景中的物体(说出物体名称),而并不与被试进行任何其他交流时,被试也会在部分场景任务中对他人的视角表现出反应优势(相比于其他视角)。这些发现共同揭示了他人对个体空间表征产生影响的前提条件和复杂性。这种影响的潜在机制属于空间协作的研究范畴。

1.2 空间协作中的参照系建立

生活在复杂多样的空间环境中,被试常常需要与他人进行空间交互。空间交互是指个体与他人基于某种特定目标,理解、传递和共享空间信息的一个动态变化过程,涉及空间视角采择、空间参照系等多个空间认知机制(肖承丽 等, 2019; 肖承丽 等, 2021)。在空间交互中,交互双方基于空间视角采择来表征和理解对方的视角对于空间交互的顺利进行尤为关键,而空间协作(即交互双方合作完成某项空间任务)作为空间交互的核心形式之一,其高效开展同样离不开空间视角采择的支撑。所谓空间视角采择,是指个体在特定条件下能够灵活转换并考虑他人视角的能力。在空间协作任务中,个体通过采择对方视角,可能会基于该视角构建对应的空间参照系,进而为协作任务的顺利完成提供认知支持。本研究旨在系统验证这一假设,并深入探讨其内在机制。

综合前文所述,无论是对于空间参照系的建立还是空间视角采择过程,场景中的“他人”都是重要的影响因素。然而,空间协作任务的复杂性进一步提升,因为它不仅涉及个体因素,还涵盖了双方交互的多个层面。因此,在空间协作任务中探索个体空间参照方向的选择时,需考虑更为多样化的影响因素:首先,空间协作任务本身具有明确的目标导向性,即双方需携手合作以达成特定任务。在此背景下,双方的空间能力成为影响被试选择空间参照方向的重要因素。Schober (2009)的早期研究通过空间语言任务发现,当被试得知其合作伙伴的空间能力较低时,即便从自身视角描述更为便捷,被试也更倾向于从伙伴的视角进行描述。其次,研究者还

发现他人在任务中的表现也影响着被试参照视角的选择。例如, Furlanetto 等人(2013)使用短视频进行空间视角采择任务,发现他人对视频场景中物体的注视和表现出的动作倾向能够促使被试采用他人的视角进行空间判断,并且这种促进效应在被试仅能看清他人的动作倾向时(视频中他人的视线被模糊化)依然显著;此外, Freundlieb 等人(2016)采用联合空间任务探讨被试自发采择伙伴视角的条件,指出只有当被试充分相信伙伴也是在积极参与到空间任务中时,才会自发地采择对方的视角。除了伙伴的特征,任务指令及任务本身的其他线索也会影响到被试空间参照方向的选择。多项研究表明,如果被试在任务开始之前即知晓自己要对方合作,并且明确知道自己需向视角不一致的伙伴进行空间描述时,会更倾向于选择从对方视角进行描述或进行空间表征(Galati et al., 2013; Kelly et al., 2018; Shelton & McNamara, 2004)。

还有研究者同时关注了空间交互任务中的社会和物理因素(Galati & Avraamides, 2015),他们结合了空间任务中的社会性线索以及场景本身的特征,同时探讨这两类线索如何交互影响个体的空间表征和语言描述。在他们的实验中,被试成对组合,其中一位作为指令发出者,负责场景学习、场景描述并完成后续的相对方向判断任务;而另一位与之配对的伙伴作为指令接收者,负责在听取场景描述的同时进行场景复原。研究关注的组间因素包括双方视角与场景内在轴的一致性(场景内在轴与指令发出者视角一致/与接收者视角一致/均不一致)以及指令发出者对伙伴的位置是否知晓(知晓/不知晓)。结果发现,在知晓伙伴位置的情况下,无论是自身还是伙伴视角与场景内在轴一致,被试都倾向于将场景内在轴方向作为空间参照系的表征方向;而当被试不知晓伙伴的位置时,则倾向于从自身观察视角进行空间表征。另外,在空间描述任务中被试的行为也表现出灵活性:当场景内在轴与自身对齐时,他们更多地从自身视角描述;而当其与伙伴对齐时,则又能采用对方视角进行描述。该研究结论进一步揭示,在复杂的空间交互任务中,影响被试空间参照方向选择的因素更加多样。当多种参照线索并存时,被试会在权衡后做出选择。然而,关于复杂空间交互任务中各种因素如何具体影响个体空间参照方向的选择,仍需大量后续研究来深入探索。

1.3 问题提出与假设

综上, 研究者们针对空间参照系、空间视角选择以及空间交互已做出了许多探索(肖承丽等, 2019), 但已有研究还存在以下两个问题: 第一, 前人研究中实验情境的社会性表现不足, 且协作程度有待提升。例如, 在谢宁(2020)研究中被试不进行沟通, 或虽有沟通, 但是他们的学习绩效并不受到共同协作的结果影响, 协作的程度不够。而在 Galati 和 Avraamides (2015)的实验中, 被试单一被动地接受协作伙伴的信息输入, 在交互性上可以再提高。因此, 本研究以前人研究为基础并关注人的交互特征, 将单一被试单独学习场景升级成被试与伙伴合作完成任务的情境, 拟在更丰富的协作情境中探究空间参照系的建立。第二, 在空间协作任务中, 被试的参照线索更加多样, 除了传统的物理线索之外, 还要考虑社会互动的因素。尽管如前文所述, 已有众多研究证实了这一观点, 但仍存在异议, 如 Sjolund 等人(2014)的研究结果表明, 无论协作伙伴是否存在, 被试更倾向于建立自我中心的参照系表征。这表明, 在空间协作任务中, 被试进行空间参照系整合的具体表现和内在机制仍不清晰。因此, 本研究旨在为该领域提供更多数据支持, 以期进一步阐明相关问题。

本研究设计了3项实验, 旨在通过构建空间协作场景, 引入他人与被试共同参与简化的空间协作任务, 并借鉴前人研究成果, 采用相对方向判断范式, 深入探究被试在空间协作任务中的空间参照系表征形式及其影响机制。实验1的研究目标为探究个体在空间协作任务中如何建立空间参照系, 具体来说, 即被试能否通过伙伴的视角进行空间参照系整合; 研究假设为在与伙伴协作复原全场景后, 被试能对双方的参照系进行整合, 表现为对两类参照方向的指向误差无显著差异。实验2增加了被试与伙伴间的角度差, 目标是改变伙伴的位置, 营造一种近似面对面的情境, 探讨被试能否进行空间参照系整合; 研究假设为改变伙伴的位置后, 被试仍然能对双方的参照系进行整合, 表现为对两类参照系的指向误差无显著差异。实验3以实验2为基础, 进一步调整实验条件, 操纵伙伴离场的时机, 尝试探索这一因素对协作任务中空间参照系整合的影响。研究假设为: 即使伙伴在完成场景复原后即离开, 被试依然能够完成空间参照系整合, 具体表现为对两类参照系的指向误差无显著差异。预期本研究通过整合人际协作因素于空间参照系理论中,

不仅可以深化该理论的内涵, 而且其研究成果能够拓展应用到人机交互领域, 体现出一定的应用价值。

2 实验1 空间协作任务中的空间参照系选择: 协作双方相邻情境

2.1 研究目的与背景

在本研究里采用了一些新的实验设计尝试, 主要考虑两个问题: 其一, 如何实现空间协作? 空间协作, 具体来说就是合作完成一项空间任务。本研究在经典的 Mou 和 McNamara 的研究范式(2002)上进行了改进, 并参考了 Holmes 等人(2018)的多视角任务范式, 创设了一种需要协作方能完成的空间拼图任务。在该任务中, 被试和协作伙伴分开学习全场景的一部分(相当于两人分别被分到几块“拼图”), 然后两人再先后在同一区域中复现自己所学的部分(即把自己拿到的几块“拼图”放到相应位置), 最终完成全场景的复原(拼图任务完成)。其二, 使用何种场景? 以往有关空间参照系的研究中多是采用“土”字场景(李晶, 张侃, 2011; Mou et al., 2008; Street & Wang, 2014), “土”字型场景有一个突出的竖直轴, 而形成明显的左右对称结构。为了避免场景内部结构对被试空间参照方向选择的影响, 我们采用了全对称结构的圆形场景(Greenauer & Waller, 2008; 谢宁, 2020), 它没有突出的轴, 这将使得协作双方对场景的学习和记忆不会因为场景结构产生偏向, 有助于检验被试对两个参照方向的选择情况。基于这两点改变, 我们设计了实验1, 考察该实验范式的可行性。如果被试体现出在自己视角及其所在轴或坐标系的显著反应优势, 那么说明他们依然选择自我的视角来形成参照系; 如果被试在自己视角及其所在轴或坐标系的优势作用下降, 那么说明他们已经可以注意到甚至加工协作伙伴的视角, 并尝试将它纳入到自己的参照系表征之中, 形成一种整合的效应。

2.2 研究方法

2.2.1 被试

使用 G*Power 3.1.9.7 估计样本量, 参考宋晓蕾等人(2024)的标准, 设置 $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.95$, 中等效果量 effect size $f = 0.25$, 得出单因素八水平的组内实验需要样本量为23。平衡性别、场景、试次呈现顺序等因素后, 实验最终招募在读大学生被试共30人, 平均年龄22.97岁($SD = 0.90$ 岁), 其中男生15名, 女生15名, 符合要求。所有被试视力或矫正视力正常, 自愿参加本研究且在此前未参加过类似实验, 在完成实验后获得相应报酬。所有实

验经过南京师范大学生物医学伦理审查委员会(批准号: NNU2022060041)批准进行。

2.2.2 研究设计

实验 1 为单因素被试内设计, 自变量为相对方向判断任务中的想象朝向, 分为 8 个水平: $0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/135^{\circ}/180^{\circ}/225^{\circ}/270^{\circ}/315^{\circ}$ 。参考了 Wang 等人 (2021) 的研究, 我们对这些想象朝向进行了两种分组: 第一种分组是把它们分为两类坐标系, 一类为被试坐标系, 包含被试视角所在的坐标系方向 $0^{\circ}/90^{\circ}/180^{\circ}/270^{\circ}$, 另一类为协作伙伴坐标系, 包含伙伴视角所在的坐标系方向 $45^{\circ}/135^{\circ}/225^{\circ}/315^{\circ}$ 。第二种分组是分为 4 类轴, 即将一条轴上的两个朝向合为一类, 产生 0° - 180° 轴(与被试视角对齐, 简称为被试视轴)、 315° - 135° 轴(与伙伴视角对齐, 简称为伙伴视轴)、 90° - 270° 轴(与被试视角垂直, 简称为被试视角正交轴)、 45° - 225° 轴(与伙伴视角垂直, 简称为伙伴视角正交轴) 4 类轴。

因变量为指向误差(被试指向方向与物体实际方向之间的夹角)和反应时, 其中, 将 Mou 和 McNamara (2002) 中所使用的指向误差为本研究关注的主要指标, 而反应时变量作为指向误差的补充 (Wang et al., 2021)。

2.2.3 实验仪器与材料

实验仪器: 采用 E-Prime 2.0 编制测试程序, 在戴尔电脑 Optiplex 7020 台式机上呈现测试任务, 显示器大小为 27 英寸、刷新率为 60 赫兹, 分辨率为 1920×1080 。

问卷: 参考前人研究 (Wang et al., 2021), 本实验采用《圣巴巴拉方向感量表》(SBSOD, Hegarty et al., 2002) 作为衡量被试空间能力的工具, 问卷得分将作为后续方差分析的协变量。

学习场景: 学习和协作阶段均在一个直径 3 m 的圆柱形帐篷内进行, 帐篷中央有一张圆桌(高 1 m, 桌面直径 1.2 m)用于放置实验材料, 篷顶有一盏白炽灯用于照明; 实验材料包括 9 个常见物体, 从数字 1~9 依次分别是笔筒、罐子、花瓶、牙签、垃圾袋、棉棒、蜡烛、玻璃杯、胶水(见图 1), 所有物体无明显朝向且无明显的语义联系。

实验所使用的完整场景是由以上 9 个物体构成的圆形场景。其中, 笔筒位于中央, 其余物体以 45° 为间隔均匀排布在笔筒周围(见图 1), 各物体距离圆桌中心约 0.3 m。被试和协作伙伴要分开学习该场景的一个部分, 其中, 被试的学习场景包含 5 个物体, 伙伴与被试学习的场景有部分重叠, 包含 6 个物体。

为减少实验场景排列对被试的影响, 在全场景不变的前提下, 实验 1 为被试和协作伙伴设置了两种部分场景(见图 2), 左侧为一组, 右侧为另一组。即一半被试学习的是场景①, 同时与之协作的伙伴看到的是场景②; 另一半被试学习场景③, 其伙伴看到的是场景④。场景①和③拥有共同的场景主轴(与沿着被试视角的方向重合, 0° - 180° 轴), 由物体 3-1-7 构成; 场景②和④拥有共同的场景主轴(与沿着协作伙伴视角的方向重合, 135° - 315° 轴), 由物体 4-1-8 构成。被试视角和协作伙伴视角所看到的场景互不拥有对方的优势主轴方向, 如图, 场景①和③中没有物体 4、8; 场景②和④中没有物体 3。

测试项目: 测试使用的是经典的相对方位判断任务 (Mou & McNamara, 2002), 具体表述为“想象你站在 A 的位置, 面向 B, 请指出 C 所在的方向” (正式实验中, A/B/C 会替换成物体的名称), 如果 A 往 B 的方向构成想象朝向, 若其与被试所选择的参照方

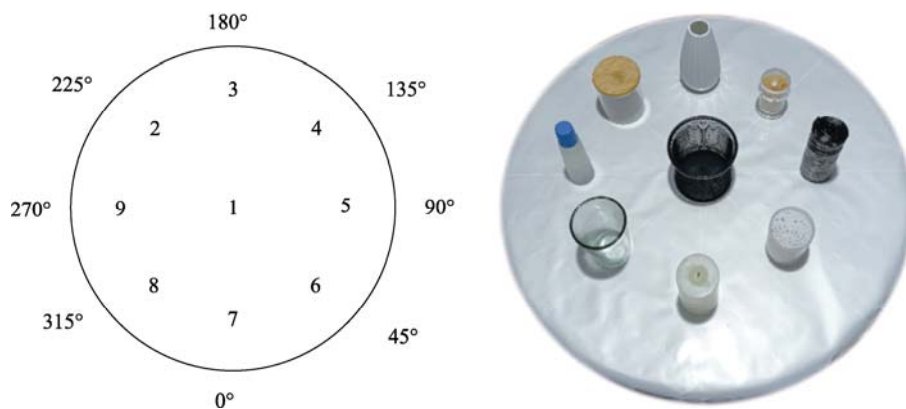


图 1 实验场景结构与实景图

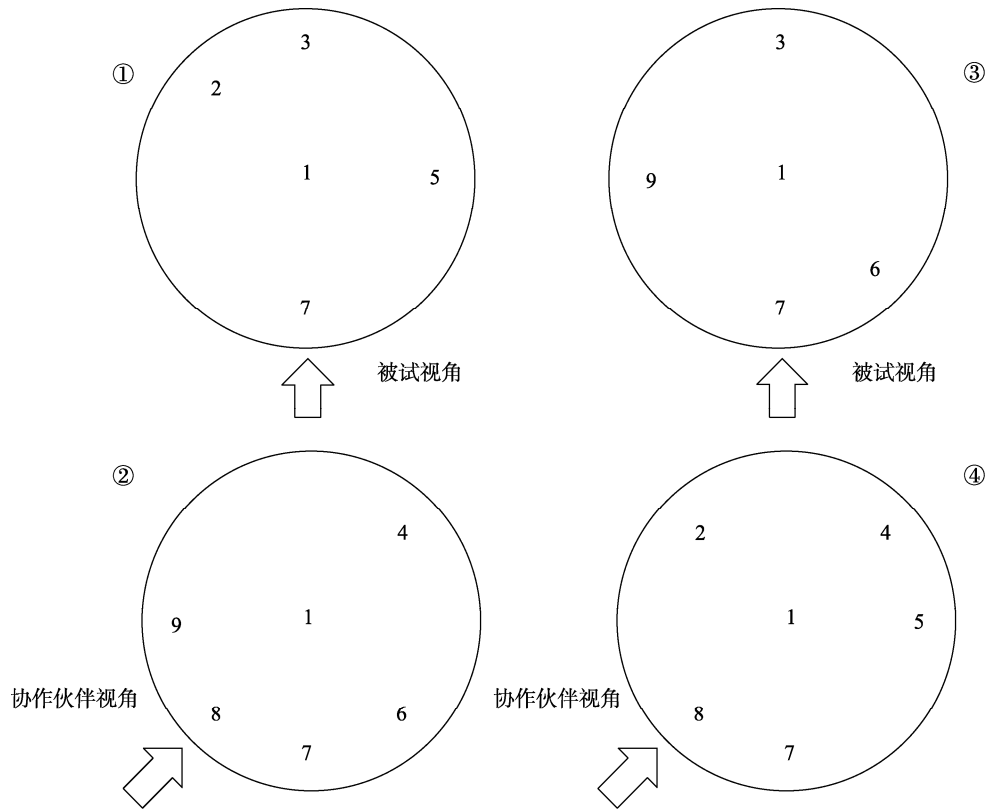


图 2 实验 1 学习场景示意图

向重合, 那么对判断的绩效将好于其他项目。在平衡了各物体在表述中出现的次数、各想象朝向出现的次数之后, 我们设置了 80 个正式试次, 6 个练习试次, 8 个填充试次。正式试次中, 每一种想象朝向均各出现 10 次, 有 8 种想象朝向, 共计 $8 \times 10 = 80$ 次。除中心的笔筒之外, 其余 8 个物体中, 每个物体作为定位物体 A、朝向物体 B 的次数各均为 10 次(对于 A 或 B: 共计 $8 \times 10 = 80$ 次), 作为测试物体 C 的次数均为 9 次; 而笔筒只作为测试物体 C 出现, 次数为 8 次(对于 C: 共计 $8 \times 9 + 8 = 80$ 次)。考虑到笔筒为中心物体, 包含笔筒的朝向定位(即作为朝向物体 B)比较容易想象, 难度较低, 因此设计了 8 个此类试次作为填充试次, 不参与最后的数据分析。为了减少被试的疲劳感, 根据预实验中被试的反应时间及反馈情况, 将正式实验拆分成了 4 个区块(在每个区块前后各有 1 个填充试次), 被试在各区块间可以休息。另外, 为了减少试次中的熟悉效应和学习效应, 每个区块里的试次顺序事先设定好, 避免相同物体或相同朝向在前后两个试次中接连出现, 同时 4 个区块的顺序在被试间进行了平衡。

2.2.4 实验程序

实验程序的设计基于如下假设: 协作双方各自学习, 之后采用类似“拼图”的过程将双方各自学习

的场景拼成一个。在这个过程中, 由于场景没有外显的几何特性(Li et al., 2009), 双方各自基于自己的观察视角进行学习, 因此采用的参照系不同。被试以自身观察视角方向(0°)建立场景的参照系表征, 接着通过场景复原的操作观察到对方的物体组成, 并且在共同学习过程中加深印象、反思获知对方的内在参照方向(即协作伙伴视角 315°)。那么存在这样的可能: 由于协作的前提, 被试需要将对方的参照系纳入自己的表征之中, 表现为在相对方向判断任务中, 对包含自身参照系方向(即 $7 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ 方向)的项目和包含对方参照系方向(即 $8 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ 方向)的项目反应时之间没有显著差异; 反之, 如果没有形成整合, 则对包含自身参照方向的项目反应更快。

实验程序参考了 Sjolund 等人(2014)的研究流程, 包括准备、学习、场景复原、共同学习、场景标注以及测试 6 个阶段, 整个过程耗时约 60 分钟。

①准备阶段: 主试向被试介绍实验流程和具体要求, 保证被试充分理解实验内容。主试告知被试, 他/她要和一个伙伴分开学习全场景的一个部分, 伙伴已经先完成了学习, 正等待与被试一起进行场景复原。但被试需要到场景复原阶段才能得知伙伴的位置, 并且被试自始至终不知道协作伙伴是由主试的助手假扮的。介绍完实验流程后, 被试有大约

一分钟去熟悉所有 9 个物体及对应名称。在被试反馈已理解实验内容后,主试请被试在笔记本电脑上完成《圣巴巴拉方向感量表》。

②**学习阶段**:完成问卷后,被试戴上眼罩并进入帐篷,待确定被试挪动到预设位置(图 2 被试视角点)后摘掉眼罩(在前 5 个阶段中,被试都保持位置不动),给予指导语:你将看到桌面上有几个物体,请你尽量准确地记住各物体的位置,以便能在接下来的协作阶段跟你的伙伴一起把场景复原,你的学习时间没有限制,请你在确认记住场景后告知我。被试按照图 2“被试视角”完成学习后,再次戴上眼罩,主试将桌面的物体收到物体箱中。

③**场景复原阶段**:主试走出帐篷,请协作伙伴(假被试)戴上眼罩并引导其进入帐篷站到指定位置(图 2 的协作伙伴视角点),随后给予双方指导语:请大家一起摘掉眼罩。刚刚大家是分开学习了全场景的一个部分,接下来需要两位合作把整个场景复原出来,我会随机指定你们中的一个人先摆出自己学习的场景,另外一个人再根据自己的学习情况进行补充,现在请你先摆出自己的学习场景。主试始终先指向伙伴;并且在 3 个实验中,伙伴在场景复原阶段摆放物体的顺序始终为从上到下、从左到右,例如在图 2 左侧场景时,复原物体位置的顺序为:4→1→8→9→6→7(前三个物体的顺序指示了伙伴的内在参照方向, Mou et al., 2009)。伙伴完成自己的任务后,将物体箱递给被试,被试继续补充剩余的物体位置,直到所有物体都摆到桌面后主试再发出指令:现在所有物体都已经摆到桌面上,你们还有机会轮流调整一下物体位置,直到你们两人都满意为止,然后我会对结果进行检查,如果没有问题,就算协作成功;如果出现严重偏差,会请你们重新协作。该过程中主试不进行任何指导或暗示,但伙伴会尽量调整物体位置以便更接近于预设全场景,双方调整完成后,主试拍照作为双方协作成绩的记录。

④**共同学习**:双方均保持位置不变,给予指导语如下:现在复原的场景是非常成功的,所有的物体都在正确的位置上,你们现在需要继续学习场景

中所有物体的位置,以便完成最后的记忆测试,测试的成绩也将作为你们协作的成绩进行记录。你们的学习时间依然没有限制,请你们在确定记住后告知我。

⑤**场景标注阶段**:在反馈学习完成后(协作伙伴始终在被试表示记住之后片刻才反馈学习完成),主试把桌面上的物体收走,然后为双方分发一张圆形白纸和笔,按照先被试后伙伴的顺序,请双方先后从自己的视角将 9 个物体的名称标注在不同的白纸上,由主试进行正误反馈,连续 3 次标注无误方可进入最终测试。在一方进行标注的过程中,另一方戴着眼罩在一旁休息。

⑥**测试阶段**:场景标注任务全部完成后,主试先引导被试走出帐篷去完成相对方向判断任务,再送走协作伙伴。测试开始前,主试会向被试解释测试任务:该任务要求被试以界面指示的想象站位和朝向为参照(“想象你站在物体 A 的位置,面向 B,请指出 C 所在的方向”),通过鼠标左键点击指针进行旋转,再次点击确认目标物体所在的方向,程序自动记录被试的反应坐标和反应时。被试先进行练习,主试会及时给予反馈,直至被试能完全理解任务并正确反应 3 次。练习任务完成后开始正式实验,被试需要在保证正确的前提下尽快反应,正式实验流程见图 3。

2.2.5 数据分析

先将采集的坐标数据转换成指向误差(经过绝对值转化,始终为正数),参考 Wang 等人(2021)的处理方法,将指向误差大于或等于 45°的试次定义为错误试次,并排除正确率低于 60%的被试的全部数据。之后,将《圣巴巴拉方向感量表》的得分作为协变量,使用 SPSS 26.0 对指向误差和反应时进行重复测量的方差分析。

2.3 结果与分析

实验 1 中,被试在相对方向判断任务中的平均反应正确率为 90.8%,没有被试因正确率过低被剔除数据。对所有被试的反应时和指向误差做相关性分析,得到皮尔逊相关系数为 -0.07 ($p = 0.71$),表明不存在速度-准确性权衡。具体数据见表 1。

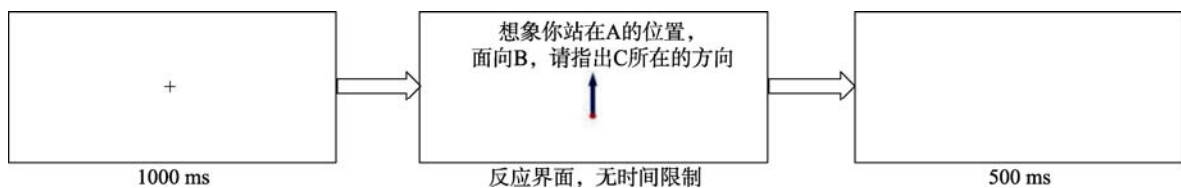


图 3 测试阶段任务流程

表 1 实验 1 各想象朝向下的指向误差(度)和反应时(秒)的平均数 M 与标准差(SD)

想象朝向	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
指向误差	13.07(6.19)	20.72(9.56)	17.28(7.58)	21.18(9.58)	18.55(11.64)	26.58(13.04)	17.26(7.34)	16.44(5.49)
反应时	13.55(5.54)	18.27(9.99)	17.70(10.10)	22.58(15.50)	17.37(7.86)	19.95(8.99)	16.38(8.77)	16.35(7.55)

以被试在《圣巴巴拉方向感量表》的得分作为协变量,对指向误差进行重复测量方差分析(见图 4),结果发现,当想象朝向按照每 45°分成 8 个水平时,想象朝向主效应显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(4.99, 139.77) = 2.98, p = 0.01, \eta_p^2 = 0.10$ 。事后比较发现:在指向误差上,0°朝向上的判断显著低于其他 7 个角度($ps < 0.02$),225°朝向上的判断显著高于其他 7 个角度($ps < 0.01$)。此外,45° > 315°($p = 0.04$)、135° > 270°/315°($ps < 0.03$),其余朝向间的两两比较均不显著(“>”或“<”均表示存在显著差异,“=”表示无显著差异,下同)。

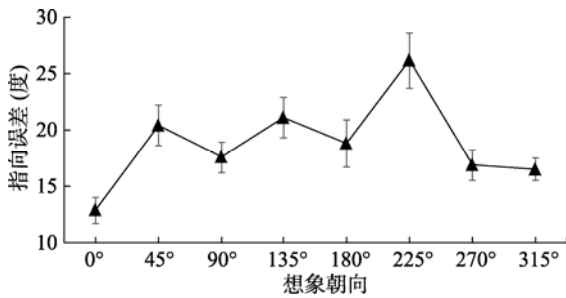


图 4 实验 1 中不同想象朝向条件下的指向误差(误差线为 $\pm 1SE$,下同)

我们对数据分别进行了两种分组,以进一步探讨被试的表现规律。首先,将被试的想象朝向分成两类坐标系进行协方差统计分析,结果发现主效应显著, $F(1, 28) = 5.39, p = 0.03, \eta_p^2 = 0.16, 95\% CI = [-6.51, -2.50]$ 。被试对自身坐标系的指向误差($M = 16.66, SD = 5.80$)显著低于协作伙伴的坐标系($M = 21.40, SD = 7.86$),表明被试并没有将伙伴的整个参照系纳入自己的空间表征之中。但这是否意味着伙伴视角完全没有被考虑呢?为进一步探究这个问题,将想象朝向分成 4 类轴再分析。结果发现主效应显著, $F(3, 84) = 4.13, p = 0.01, \eta_p^2 = 0.13$ 。事后比较发现:在指向误差上,0°-180°轴($M = 15.67, SD = 7.53$)的指向误差显著低于 45°-225°轴($M = 23.57, SD = 10.38, 95\% CI = [-10.81, -4.05], p < 0.001$)与 135°-315°轴($M = 19.24, SD = 7.03, 95\% CI = [-5.75, -0.11], p = 0.04$);45°-225°轴的指向误差明显高于 90°-270°轴($M = 17.24, SD = 6.30, 95\% CI = [3.33,$

$8.82], p < 0.001$)和 135°-315°轴($95\% CI = [1.46, 7.55], p = 0.01$);0°-180°轴与 90°-270°轴之间($p = 0.32$),90°-270°轴与 135°-315°轴之间($p = 0.20$)没有显著差异。从以上结果来看,在实验 1 中,虽然被试没有对双方的参照系进行整合,但被试对于与协作伙伴视轴的反应误差显著低于伙伴视角正交轴的误差,体现了被试在进行空间参照系表征时已经能将伙伴视角考虑其中,只是这种优势并没有延伸到伙伴视角垂直的方向。

对反应时进行带协变量的方差分析,结果显示,当想象朝向分成 8 个水平时,想象朝向的主效应不显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(2.30, 64.37) = 2.30, p = 0.09$ 。其中,0°相对于其他角度的优势($ps < 0.01$)以及 225°相对于除 135°外其他角度的劣势($ps < 0.31$)均存在。当想象朝向分成两类时,想象朝向主效应不显著($F(1, 28) = 2.44, p = 0.13$),但被试视角所在坐标系的反应($M = 16.25, SD = 7.67$)存在快于伙伴视角坐标系($M = 19.29, SD = 10.15$)的趋势。当想象朝向分成 4 类轴时,想象朝向主效应也不显著, $F(1.84, 51.56) = 1.76, p = 0.16$ 。但 0°-180°轴($M = 15.46, SD = 6.40$)相对于 45°-225°轴($M = 19.11, SD = 9.29, 95\% CI = [-5.23, -2.07], p < 0.001$)与 135°-315°轴($M = 19.47, SD = 11.25, 95\% CI = [-6.37, -1.64], p < 0.01$)的优势也存在。可以认为,反应时数据分析中虽未发现显著主效应,但基本趋势与指向误差是相同的。

2.4 讨论

实验 1 的结果与 Sjolund 等人(2014)的结果存在一些差异。在他们的研究中,一部分被试被分配到单独学习组,他们从 0°或 45°方向学习场景;一部分被试被分到配对组,每组有一位被试从 0°学习,另一位从 45°学习场景,接着,两人要协作完成场景重建任务。场景重建之后,所有被试再单独完成相对方向判断任务。结果发现,无论被试是独立完成场景重建还是与伙伴协作完成场景重建,他们都选择了与自身观察视角一致的方向进行空间表征,并且伙伴的视角没有任何优势可言,即协作伙伴的存在并没有显著影响到他们的空间参照系选择,被试建立的是以自我为中心的单一参照系,体现了自

我中心经验在空间表征中的重要地位。我们在本次实验中, 尝试对实验情境协作性进行了改进。对比先前研究, 我们发现被试在本次实验中从伙伴视角进行判断的数据趋势存在着一定的改变: 在 8 个水平比较中, 315°的表现仅次于 0°; 在 4 类轴比较中, 135°-315°轴与 90°-270°轴的表现无差异。这表明本次实验的协作性改进, 对促进被试从伙伴视角进行记忆表征有一定作用。

那被试究竟是否能够达到整个参照系的整合呢? 这时我们考虑到文献综述中曾提到视线在视角采择中的重要性, 曾有学者指出只有被试感知到伙伴也能从视觉上接收到场景信息时才会发生自发性视角采择(Freundlieb et al., 2016; Ward et al., 2020)。但在实验 1 中, 被试和伙伴站立距离较近(角度差为 45°), 对伙伴视角的感知可能也不够强烈, 仍然倾向于从自我视角进行参照系建立; 同时, 可能由于被试认为伙伴的角度比较接近, 没有必要进行视角转换去尽力了解对方所看到的场景, 从他们的视角建立参照系的可能性也因此降低; 另外, 315°的朝向(相比于 45°而言)具有特殊的判断优势, 在一些研究中也被发现(例如, 周荣刚, 张侃, 2005)。为了解决这些问题, 实验 2 在实验 1 的基础上改变伙伴的位置, 拟营造一种被试与伙伴近似面对面的情境, 同时使得被试与伙伴之间的角度差增大, 从而进一步探究促进被试进行空间参照系整合的条件。

3 实验 2 空间协作任务中的空间参照系选择: 协作双方斜向相对情境

实验 2 进一步探究促进被试进行参照系整合的条件。结合以往相关研究可知, 被试在视线上对伙伴的注意可能会影响到对该方向的感知, 因此, 实验 2 对先前条件进行了改变, 尝试寻找被试进行参照系整合的证据。

3.1 研究方法

实验 2 根据 G*Power 计算出的计划样本量仍为 23, 最终招募在读大学生被试共 30 人, 平均年龄 23.78 岁($SD = 1.39$ 岁), 其中男生 15 名, 女生 15 名。

实验 2 的仪器、使用的问卷、数据处理的方法和实验 1 相同。不同的是, 在学习阶段, 协作伙伴视角从 315°转移至 225°。在全场景不变的前提下, 实验 2 也为被试和协作伙伴设置了两种部分场景: 被试场景①由物体 1、3、4、7、9 组成, 对应的伙伴场景由 1、2、5、6、7、8 组成; 被试场景②由物体 1、3、5、7、8 组成, 对应的伙伴场景由 1、2、4、6、7、9 组成。两个被试视角场景拥有共同的主轴, 由物体 3-1-7 构成; 两个协作伙伴场景拥有共同的主轴, 由物体 6-1-2 构成(图 5)。

经过这样的改动之后, 实验设计的自变量按 4 类进行水平分类时发生了变化: 0°-180°轴和 90°-270°轴情况不变、45°-225°轴变为伙伴视角、

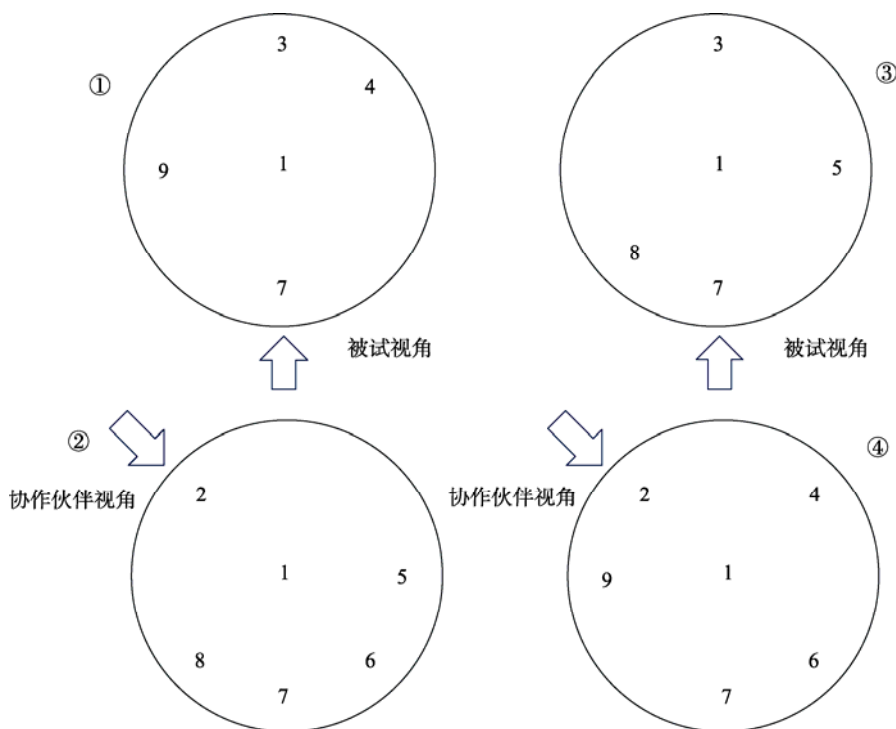


图 5 实验 2 学习场景示意图

表 2 实验 2 各想象朝向下的指向误差(度)和反应时(秒)的平均数 M 与标准差(SD)

想象朝向	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
指向误差	12.08(7.74)	18.18(9.04)	18.04(8.44)	21.24(13.26)	15.37(7.21)	18.14(9.27)	16.94(8.93)	15.45(6.19)
反应时	12.88(2.95)	17.00(5.43)	17.90(6.24)	20.74(8.28)	17.16(6.29)	20.18(8.00)	16.59(4.88)	16.47(6.28)

315°-135°轴为伙伴视角正交轴。实验程序除了伙伴的位置发生变化之外,其他均与实验 1 相同。

3.2 结果与分析

实验 2 中,被试在相对方向判断任务中的平均反应正确率为 93.1%,没有被试因正确率过低被剔除数据。对所有被试的反应时和指向误差做相关性分析,得到 Pearson 相关系数为 0.24 ($p = 0.18$),正确率和反应时之间不存在显著相关,因此实验 2 中不存在速度-准确率权衡。具体见表 2。

3.2.1 单实验分析

对指向误差进行带协变量的方差分析,结果显示:当想象朝向分成 8 个水平时,想象朝向的主效应不显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(3.85, 107.89) = 0.28, p = 0.96$, 见图 6; 当想象朝向分成两类时(被试所在的坐标系/协作伙伴所在的坐标系),想象朝向主效应不显著 $F(1, 28) < 0.01, p = 0.96$; 当想象朝向分成 4 类时(0°-180°轴/90°-270°轴/45°-225°轴/135°-315°轴),想象朝向主效应也不显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(2.22, 62.26) = 0.04, p = 0.99$ 。

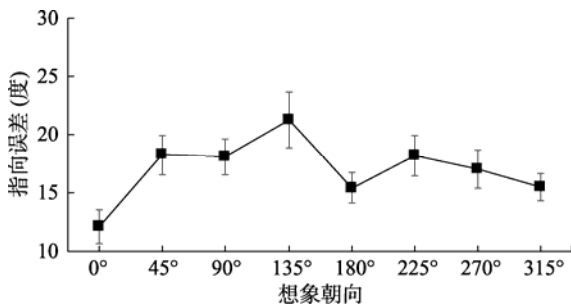


图 6 实验 2 中不同想象朝向条件下的指向误差

对反应时进行带协变量的方差分析,结果显示,当想象朝向分成 8 个水平时,想象朝向的主效应不显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(3.94, 110.28) = 2.06, p = 0.09$ 。当想象朝向分成两类时,想象朝向主效应显著, $F(1, 28) = 5.03, p = 0.03, \eta_p^2 = 0.15, 95\% CI = [-3.86, -1.48]$, 被试坐标系($M = 16.15, SD = 4.26$) < 协作伙伴坐标系($M = 18.81, SD = 6.19$)。当想象朝向分成 4 类轴时,想象朝向主效应显著, $F(3, 87) = 3.04, p = 0.03, \eta_p^2 = 0.10$ 。事后比较

发现, 0°-180°轴($M = 15.07, SD = 4.22$)的反应时显著短于 45°-225°轴($M = 18.95, SD = 6.07, 95\% CI = [-5.39, -2.37], p < 0.001$)、90°-270°轴($M = 17.22, SD = 4.84, 95\% CI = [-3.35, -0.94], p = 0.001$)和 135°-315°轴($M = 18.67, SD = 12.78, 95\% CI = [-5.26, -1.94], p < 0.001$); 45°-225°轴的反应时显著长于 90°-270°轴($p = 0.01, 95\% CI = [0.39, 3.08]$), 其他两两配对之间差异均不显著($ps > 0.08$)。与实验 1 的趋势基本相同。

3.2.2 联合分析

为了更好地比较实验间的结果,进一步将实验 1 和实验 2 的指向误差结果进行联合分析。当采用 8 个想象朝向分类时,想象朝向与实验的交互作用显著(Greenhouse-Geisser 校正), $F(5.27, 300.43) = 2.44, p = 0.03, \eta_p^2 = 0.04$ 。参照已有分析结果可知,实验 1 中的想象朝向数据趋势($p = 0.01$)与实验 2 ($p = 0.96$)之间存在明显的差异。为了更好地对结果进行解释,我们重点关注另外两种自变量分类的结果。

当将想象朝向分成两类时,实验与两类坐标系之间的交互作用不显著, $F(1, 57) = 2.43, p = 0.12$ 。当想象朝向分成 4 类时,必须注意到由于两个实验里,45°-225°轴和 135°-315°轴的地位不同,因此我们按照被试视轴/被试视角正交轴/伙伴视轴/伙伴视角正交轴 4 个水平进行分析。数据分析结果显示,实验间差异的主效应不显著, $F(1, 57) = 1.74, p = 0.19$; 实验与 4 类轴之间的交互作用显著, $F(3, 171) = 2.90, p = 0.04, \eta_p^2 = 0.05$ 。参照已有分析结果可知,实验 1 中 4 类轴之间差异显著($p = 0.01$); 实验 2 中 4 类轴差异不显著($p = 0.99$)。结合图 7 的数据趋势和实验 1、实验 2 的统计结果可知,实验 1 与实验 2 在结果中有明显差异。实验 1 中被试视轴具有显著优势,而伙伴视角正交轴则处于明显劣势。但在实验 2 中,伙伴视角正交轴的劣势明显减少,数据线趋于平缓,导致整体的差异显著性下降。

而对反应时进行联合分析时发现,无论采用 8 个想象朝向、4 类轴还是两类坐标系进行分析,它们与实验间的交互作用均不显著($F_s < 0.71, ps > 0.58$)。

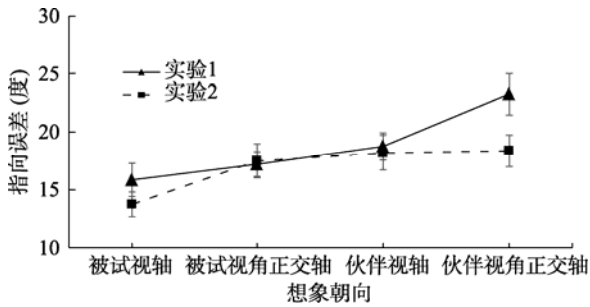


图 7 实验 1 与实验 2 中 4 类想象朝向轴条件下的指向误差

3.3 讨论

结合指向误差和反应时的结果, 可以看到在实验 2 增大了被试与伙伴之间的夹角后, 即让协作伙伴站在 225° 位置时, 发现了被试进行参照系整合的证据, 这支持了先前的假设。也就是说, 改变伙伴的位置, 使伙伴由被试的身侧转换到近似面对面的位置能促进被试进行更进一步的空间参照系整合。而反应时结果则体现出被试对于自身正交方向的反应速度依然显著快于伙伴的正交方向, 实验 1 与实验 2 的反应时趋势大致相同。也就是说, 虽然在指向误差上明显体现出了空间参照系的整合, 但被试可能形成的是“一主一次”两个参照系。其中, 自身视角下的“主”参照系与伙伴视角的“次”参照系在指向误差即反应准确性上没有显著差异, 但“次”参照系在反应速度上稍慢于“主”参照系。

尽管实验 2 表明被试在某种程度上能够整合空间参照系, 但由于两个实验的任务均包含多个阶段, 特别是在协作场景复原之后的部分, 这导致我们对于整合如何发生、是否依赖伙伴的持续在场等问题尚存疑问。在 Zhou 等人(2022)的研究中发现, 即使一个对象先出现在场景中随后离开, 被试仍能自发地采用该对象的视角。那么在我们的研究里, 与伙伴共同完成场景复原的任务后, 如果被试独自继续执行后续任务, 他们是否还能保持或重新建立有效的空间参照系整合? 换言之, 伙伴的存在是否是维持这种整合状态的必要条件? 本研究计划通过实验 3 来检验这一现象是否同样适用于当前的研究背景之下。实验中设定伙伴在场景复原结束后离开, 在整合的时机点上进行初步的探索, 未来将离开条件推广至其他阶段。这将有助于我们更好地理解个体在进行复杂互动时如何处理空间信息, 并探索其中的空间认知机制。

4 实验 3 空间协作任务中的空间参照系选择: 伙伴离场时机的作用探索

在实验 2 的基础上, 实验 3 通过进一步操纵伙伴的离场时机以改变实验条件, 旨在考察被试在相对方向判断任务中的表现是否仍能重现实验 2 的结果。

4.1 研究方法

实验 3 根据 G*Power 计算出的计划样本量仍为 23, 最终招募在读大学生被试共 32 人, 有 2 名被试因正确率低于 60% 而被剔除, 剩余被试 30 人, 平均年龄 23.16 岁 ($SD = 1.46$ 岁), 其中男生 14 名, 女生 16 名。实验 3 的实验设计、仪器和材料、数据分析部分与实验 2 相同。与前两个实验不同的是, 在本实验中, 被试在与协作伙伴完成场景复原任务后 (即完成第 3 阶段后), 主试会通过指导语请伙伴先行离开帐篷, 被试则留在帐篷内单独进行全场景学习以及场景标注阶段。当被试确认自己完成全场景的记忆时向主试示意, 主试请其继续完成场景标注阶段, 场景标注完成后, 主试会请被试戴上眼罩等待, 然后走出帐篷请伙伴完成场景标注任务, 伙伴的标注耗时约 1 分钟 (该时长是前两个实验中伙伴进行场景标注任务的平均耗时)。最后, 主试将被试带出帐篷进行最终的测试阶段。

4.2 结果和分析

实验 3 中, 删除了两名被试后, 剩余 30 人在相对方向判断任务中的平均反应正确率为 91.5%。对被试的反应时和指向误差做相关性分析, 得到 Pearson 相关系数 < 0.01 ($p = 0.99$), 正确率和反应时之间不存在显著相关, 因此实验 3 中不存在速度-准确率权衡。具体见表 3。

4.2.1 单实验分析

对指向误差进行带协变量的方差分析, 结果显示: 当想象朝向分成 8 个水平时, 想象朝向的主效应不显著 (Greenhouse-Geisser 校正), $F(3.48, 97.61) = 0.40$, $p = 0.90$, 见图 8; 当想象朝向分成两类时 (被试所在的坐标系/协作伙伴所在的坐标系), 想象朝向主效应不显著, $F(1, 28) < 0.01$, $p = 0.99$; 当想象朝向分成 4 类轴时 (0° - 180° 轴/ 90° - 270° 轴/ 45° - 225° 轴/ 135° - 315° 轴), 想象朝向主效应也不显著, $F(3, 84) = 0.09$, $p = 0.97$ 。

对反应时进行带协变量的方差分析, 结果显示, 当想象朝向分成 8 个水平时, 想象朝向的主效应显

表 3 实验 3 各想象朝向下的指向误差(度)和反应时(秒)的平均数 M 与标准差(SD)

想象朝向	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
指向误差	13.12(5.64)	18.43(8.78)	18.88(7.46)	20.94(15.87)	18.81(10.32)	19.29(8.44)	16.28(7.23)	14.53(5.48)
反应时	16.34(7.93)	20.58(10.05)	18.81(7.33)	22.23(10.00)	20.94(8.62)	23.79(9.31)	18.19(7.37)	18.68(8.08)

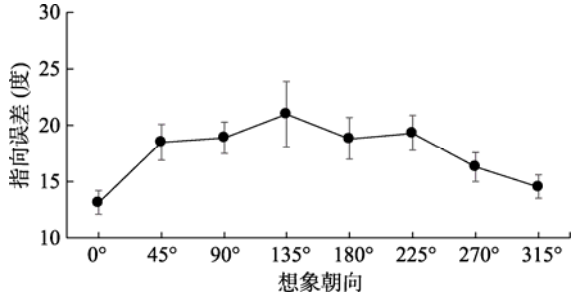


图 8 实验 3 中不同想象朝向条件下的指向误差

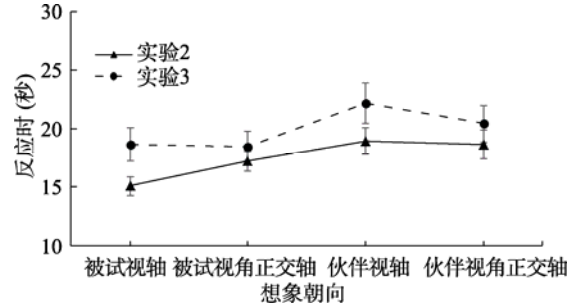


图 9 实验 2 与实验 3 中 4 类想象朝向轴条件下的反应时

著, $F(7, 196) = 2.75, p = 0.01, \eta_p^2 = 0.09$ 。事后比较发现, 0° 朝向上的判断显著快于其他 7 个角度 ($ps < 0.03$), 225° 朝向上的判断显著慢于其他 7 个角度 ($ps < 0.03$)。此外, $45^\circ > 270^\circ/315^\circ$ ($ps < 0.02$)、 $135^\circ > 45^\circ/90^\circ/270^\circ/315^\circ$ ($ps < 0.02$)、 $180^\circ > 90^\circ/270^\circ/315^\circ$ ($ps < 0.02$), 其余朝向间的两两比较均不显著; 当想象朝向分成两类时, 想象朝向主效应不显著, $F(1, 28) = 3.10, p = 0.09$; 当想象朝向分成 4 类轴时, 想象朝向主效应也不显著, $F(3, 84) = 1.53, p = 0.21$ 。

4.2.2 联合分析

进一步将实验 2 和实验 3 的指向误差结果进行联合分析。无论采用 8 个想象朝向、4 类轴还是两类坐标系进行分析, 它们与实验间的交互作用均不显著, $F_s < 1.33, ps > 0.26$ 。因此进行反应时的联合分析作为补充。

反应时的联合分析显示, 在实验间差异主效应不显著的前提下 ($F(1, 84) = 0.29, p = 0.59$), 4 类轴分析与实验间的交互作用显著, $F(3, 171) = 3.49, p = 0.01, \eta_p^2 = 0.06$, 说明在两项实验中, 4 类轴的反应快慢表现存在显著差异, 参照已有分析结果可知, 实验 2 中轴的效应显著 ($p < 0.01$), 实验 3 的则不显著 ($p = 0.21$), 从图 9 中也可以看出实验 2 中 $0^\circ-180^\circ$ 即被试视轴的反应明显快于其他轴, 而在实验 3 中这种优势有所减弱。而采用 8 个想象朝向和两类坐标系分析时, 它们与实验间的交互作用均不显著 ($F_s < 1.45, ps > 0.18$)。

4.3 讨论

在上一次的联合分析结果中可知, 实验 1 与实验 2 在指向误差上存在差异, 具体表现为在对协作

伙伴视角正交轴的指向误差明显下降。可见, 伙伴位置改变到近似面对面的设计, 对于促进被试对伙伴视角所在参照系的学习有显著的提升作用, 进而改变了被试空间参照系表征的形式。而实验 2 和实验 3 在指向误差上的表现不存在显著差异, 这表明操纵伙伴的离场时机没有显著改变被试的空间参照系表征形式, 实验 3 与实验 2 中都出现了空间参照系整合的证据。综合来看, 说明虽然伙伴在被试第二次表征前已离场, 但并不影响被试进行参照系的整合。另外我们注意到在这一过程中, 被试自我视轴的优势受到了更进一步的影响, 说明由于伙伴的出现和离开, 这种动态信息的存在形成一种线索, 加强了被试对于伙伴视角的关注, 记忆痕迹加深; 相比之下, 对于自己的视角产生的干扰也会更大, 从而缩小自己的视角所在轴与他人的视角所在轴之间的反应时差异。从数据上表现为实验 2 的 4 个轴反应时存在显著差异, 而实验 3 中这种差异消失了, 被试视轴的优势下降, 类似的情况在知觉表征过程中的视角采择测试任务中也同样存在(豆艳, 李晶, 2024), 可以推断, 知觉过程中的倾向延伸到了记忆表征之中。

5 总讨论

本研究以空间参照系为切入点, 结合空间视角采择和空间协作的研究经验, 创设拼图式空间协作情境, 让被试与伙伴共同完成空间任务, 采用相对方向判断范式设计 3 项实验, 逐步探讨被试在空间协作中参照系表征的特点以及影响空间参照系整合的心理机制。从最典型的 8 个想象朝向条件下指向误差的比较可以看出, 3 个实验分别从伙伴站在

315°、伙伴站在 225°方向、伙伴站在 225°方向且中途离场 3 种条件下探查了被试的参照系建立策略。从图 10 的比较中可得, 225°的指向误差从实验 1 到实验 2 与实验 3 之间有着明显的下降(事后检验结果表明 $p_s < 0.02$); 与其相对的 45°也有下降的趋势。由此可以得知, 人们会采择伙伴的视角, 从而将伙伴的参照系整合进自己的参照系之中, 但是整合效果在一定程度上受到角度差、伙伴离场时机等因素的影响。

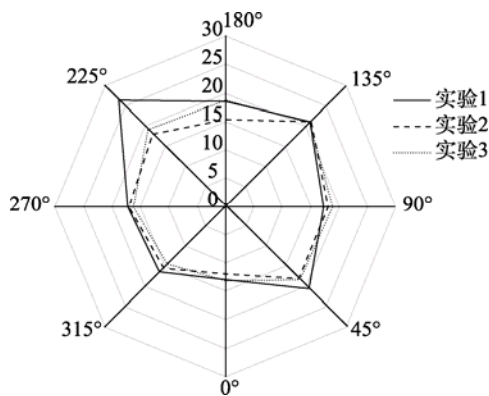


图 10 三个实验中不同想象朝向条件下的指向误差比较(单位: 度)

5.1 参照系的整合: 协作条件下多重参照系统的建立

先前采用相同的场景布局进行研究时发现, 当场景中没有人存在, 或者有他人存在但并不与被试进行交流或协作时, 被试仅从自己的视角对场景进行了自我中心的表征(Li et al., 2026)。在我们的实验 1 中, 被试 315°方向上的协作伙伴合作完成空间任务, 结果发现被试依然只从自身视角建立空间参照系对空间场景进行表征, 体现为自我视角参照系在反应时和指向误差上均存在优势, 即在实验结果中没有发现被试进行空间参照系整合的充分证据。这一结果与 Sjolund 等人(2014)的结果相似。在他们的实验中, 无论被试是独自完成场景重建任务还是与伙伴协作完成场景重建任务, 他们都选择了与自身观察视角一致的方向进行空间表征, 即协作伙伴的存在并没有显著影响到他们的空间参照系选择, 被试建立的是以自我为中心的单一参照系。

相比之下, 在实验 2 和实验 3 中, 被试视角所在坐标系的指向误差优势消失, 但在反应时上仍然存在一定差异。因此我们提出了“一主一次”双重参照系的存在, 其中, 自身视角下的“主”参照系与伙伴视角的“次”参照系在指向误差即反应准确性

上没有显著差异, 但“次”参照系在反应速度上稍慢于“主”参照系。从而推出这样的可能: 在协作的视角下, 人们在特定条件下可能形成两套参照坐标系, 从自己的视角下形成的坐标系更容易提取, 而从伙伴视角下形成的坐标系提取需要更多的认知努力, 因此延长了时间。虽然类似的情况在 Galati 等人(2013)和谢宁(2020)的研究中均有出现, 但前者采用的研究方式是口语分析且实验任务中使用指令引导被试表征协作伙伴的视角, 后者仅仅考察了反应时的表现且关注的是全局表征中观察观点的依赖性; 本研究则通过更为自然且全面的实验与数据分析方法得到这一结论, 在先前的研究结论上更进了一步, 体现了个体建立空间参照系过程中的灵活性。由此而知, 对于协作伙伴视角的采择, 可以经过知觉进入被试的记忆表征之中。

5.2 协作伙伴角度对多重参照系统建立的影响

在实验 1 和实验 2、实验 3 的比较中我们可以得知, 参照系的整合是具有一定条件的, 而这种条件可能与注意相关。在实验 1 中, 协作伙伴站在被试身侧, 即站在与被试“同向”的位置即 315°方向, 这可能导致被试对伙伴视线的感知较弱, 从而没有很好地将对方视角纳入到自身的空间参照系表征中来。但在实验 2 和实验 3 中, 伙伴都站在与被试“相向”的 225°位置, 两人更像是面对面的状态, 被试对伙伴的注意和感知程度可能会不由自主地升高, 从而促进了被试对该方向的学习和表征进而实现空间参照系整合(Li & Su, 2015)。为何伙伴处于面对面的角度更有利于空间参照系整合? 可能从以下几个角度解释:

其一, 他人视线的影响。一直以来, 空间视角采择领域都非常关注“视线”的作用(豆艳, 李晶, 2024), 研究者们曾采用护目镜或者使用物体遮挡他人视线来探究空间视角采择产生的边界条件(Freundlieb et al., 2016; Kuhn et al., 2018), 并指出只有当被试感知到协作伙伴的视线, 才会去采择对方视角。同时, 徐阵雁(2017)也曾指出, 视角采择的首要条件是个体能区分自身和他人的视角, 而在本研究中, 与 225°位置相比, 伙伴站在 315°位置时被试对其视角的感知较弱, 继而导致对双方视角的区分不够明显, 因此还不能对伙伴视角进行良好的采择, 进而建立坐标系。但值得注意的是, 虽然他人“视线”在视角采择中的重要性一直被反复提及, 但前人研究通过采用盲人被试(Tinti et al., 2018)以及操纵视角采择对象的凝视方向(Ward et al., 2020),

均发现对他人视线的感知并非视角采择的必要条件。在 Tinti 等人的研究中发现盲人可以通过听觉刺激进行视角采择,而 Ward 等人则指出是他人的空间位置而不是凝视方向触发了视角采择,两项研究都体现了对他人位置感知的重要性。在我们的研究一中伙伴处于被试的外周视野范围,暂时无法将视线和位置的影响区分开来,因此,被试的表现也可能受到他们对伙伴位置感知较弱因素的影响。

其二,协作任务的影响。前已述及,任务指令和任务本身所涉及的线索也会影响对被试空间参照方向的选择(Galati et al., 2013; Kelly et al., 2018; Shelton & McNamara, 2004)。对此, Salm-Hoogstraeten 和 Müsseler (2021) 以机器人为研究对象开展实验,结果发现:仅当被试明确知晓需与机器人进行交互时,才会倾向于采择机器人的视角;反之,在无明确交互需求的情境下,机器人的视线对被试的空间任务表现无显著影响。本研究中,被试在协作任务前所了解到的实验信息主要有以下几点:第一,这是一个学习与记忆测试任务。第二,我有一个伙伴,我们在学习时分开学习全场景的一部分。第三,学习结束后,我要和伙伴合作完成场景复原任务。除此之外,被试对于伙伴的位置及其视角下的空间场景内容一无所知,并且被试也没有收到要从伙伴视角学习的指令。可见,当被试知道有一个要跟自己进行空间协作的伙伴时或许就足够促使被试关注对方视角,并且能根据这个视角进行坐标系建立了。对实验 1 的进一步分析也能支持上述推论。虽然实验 1 中被试没有进行空间参照系整合,但在将伙伴视角的参照系分成 315° - 135° 轴(与伙伴视角对齐)以及 45° - 225° (与伙伴视角垂直)时,发现被试对于 315° - 135° 方向的判断显著优于 45° - 225° 方向。这表明即便被试没有完成空间参照系整合,但伙伴的存在已经能够促进被试对该方向的表征了,只是这种影响较小,并不足以改变被试的空间表征方式。

5.3 协作伙伴离场对多重参照系统建立的影响

实验 3 与实验 2 的不同点主要是协作伙伴在完成场景复原任务后就离开了帐篷,被试与伙伴在帐篷内的共处时间要少于实验 2。虽然与实验 2 相似,在实验 3 的分析中也发现了被试进行空间参照系整合的证据,但在实验 2 和实验 3 的单独和联合分析中还是存在一些差异。首先,如前文所述,在对实验 2 进行单独分析时,发现反应时的主效应显著,体现了虽然被试完成了空间参照系整合,但可能形

成的是“一主一次”两个参照系;而在对实验 3 进行单独分析时,发现指向误差的主效应不显著,在反应时上,被试对于自身和伙伴正交方向的反应时也无显著差异,表明被试有可能形成了没有明显的主次之分的两个参照系。

以上结果可以使用宋晓蕾和董梅梅(2023)提出的人际协同的多重表征模型来解释。该模型指出,在与他人共同行动的联合任务中,个体的表征是多重的,它包含空间维度的空间表征、与身体部位相关的具身表征以及与个体和他人的社会性互动相关的社会性表征,即空间表征的最终形成不仅受到空间环境特征的影响,也可能会受到个体对他人的社会性表征的影响。在实验 2 中,被试与伙伴在合作完成场景复原任务后共同学习全场景。一方面,伙伴的持续存在有助于被试对该方向的学习,但另一方面,这在一定程度上分担了被试的记忆负担,即产生了责任分散效应。这两个方面导致被试虽然能很好地学习到伙伴视角,但加工深度却比不上自身视角,从而表现为对双方参照系的指向误差没有显著差异但反应速度却不如自身视角。而在实验 3 中,伙伴虽然在协作完成后就离开了,但离开前的协作状态依然可能会影响被试的空间信息加工过程。就像 Zhou 等人(2022)的研究所发现的,对于一个先在场又离开的对象,被试在其离开后依然会受到其视角的持续影响。因此,伙伴短暂地看过全场景便离开后,被试可能会觉得自己有义务去帮助其完成未尽的任务,这种义务促使被试提高对伙伴视角的关注度,进而增加了加工深度,最终使得被试对于自身和伙伴正交方向的指向误差和反应速度均无显著差异。

综上所述可得知,当环境中存在的他人与被试存在社会性联结,而非仅仅是一个无关紧要的对象时,被试形成空间表征的过程也会受到他人行为的影响。这表明空间表征的建构不仅是个体内在认知活动的结果,也受外部环境,尤其是社交互动因素的深刻影响。未来研究可从三条路径提升生态效度:其一,系统操控协作伙伴的“在场-离场”时机,观察情境的动态变化如何实时改变空间表征;其二,引入语义丰富的语言沟通(如任务指令、情感反馈),考察言语内容对空间记忆的增益或干扰效应,从而进一步验证社交情境对空间参照系的影响作用。其三,引入人际协作变量,例如协作意愿与协作满意度,以系统检验不同协作特征对研究结果的差异化影响。

6 结论

本研究通过创设空间协作任务,采用相对方向判断范式设计了 3 项实验,探讨空间协作中个体的空间参照系表征以及影响个体进行空间参照系整合的心理机制。综合数据分析及讨论,主要结论如下:

第一,空间协作任务中的参照系表征形式有多种,单一参照系表征以及多参照系表征都可能出现;

第二,空间协作中的参照系整合受到协作伙伴位置的调节,与站在身侧相比,和伙伴近似面对面的位置更有利于被试完成空间参照系整合;

第三,当协作伙伴减少在场时间时,被试仍可完成空间参照系整合,只是与伙伴全程在场的情况相较,伙伴在复原阶段后的离开促使被试形成了更深刻的伙伴视角表征。

参 考 文 献

- Christou, C. G., & Bühlhoff, H. H. (1999). View dependence in scene recognition after active learning. *Memory & Cognition*, 27(6), 996–1007.
- Dou, Y., & Li, J. (2024). The spontaneity of Level-1 visual perspective taking: Under the condition of multiple avatars. *Acta Psychologica Sinica*, 56(4), 421–434.
- [豆艳, 李晶. (2024). 多对象情境中一级视觉视角采择的自发性表现. *心理学报*, 56(4), 421–434.]
- Furlanetto, T., Cavallo, A., Manera, V., Tversky, B., & Becchio, C. (2013). Through your eyes: Incongruence of gaze and action increases spontaneous perspective taking. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 455.
- Freundlieb, M., Kovács, Á. M., & Sebanz, N. (2016). When do humans spontaneously adopt another's visuospatial perspective? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 42(3), 401–412.
- Freundlieb, M., Sebanz, N., Kovács, Á. M., Gauthier, I., & Enns, J. T. (2017). Out of your sight, out of my mind: Knowledge about another person's visual access modulates spontaneous visuospatial perspective-taking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 43(6), 1065–1072.
- Galati, A., & Avraamides, M. N. (2015). Social and representational cues jointly influence spatial perspective-taking. *Cognitive Science*, 39(4), 739–765.
- Galati, A., Michael, C., Mello, C., Greenauer, N. M., & Avraamides, M. N. (2013). The conversational partner's perspective affects spatial memory and descriptions. *Journal of Memory & Language*, 68(2), 140–159.
- Greenauer, N., & Waller, D. (2008). Intrinsic array structure is neither necessary nor sufficient for nonegocentric coding of spatial layouts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(5), 1015–1021.
- Hatzipanayioti, A., & Avraamides, M. N. (2021). Alignment effects in spatial perspective taking from an external vantage point. *Brain Sciences*, 11(2), 204.
- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, 30, 425–447.
- Holmes, C. A., Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2018). Move to learn: Integrating spatial information from multiple viewpoints. *Cognition*, 178, 7–25.
- Kelly, J. W., Costabile, K. A., & Cherep, L. A. (2018). Social effects on reference frame selection. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(6), 2339–2345.
- Klatzky, R. L. (1998). Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In: Freksa, C., Habel, C., Wender, K. F. (eds.) *Spatial cognition. Lecture notes in artificial intelligence 1404* (pp. 1–18). Berlin: Springer-Verlag.
- Kuhn, G., Vacaityte, I., D'Souza, A. D. C., Millett, A. C., & Cole, G. G. (2018). Mental states modulate gaze following, but not automatically. *Cognition*, 180, 1–9.
- Li, X., Mou, W., & McNamara, T. P. (2009). Intrinsic orientation and study viewpoint in recognizing spatial structure of a shape. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 518–523.
- Li, J., & Su, W. (2015). The limited effect of coincident orientation on the choice of intrinsic axis. *Perceptual & Motor Skills*, 120(3), 895–905.
- Li, J., Wang, Q., Xie, N., & Qi, P. (2026). Multi-perspective spatial memory representation in the presence of others. *Cognitive Processing*. <https://doi.org/10.1007/s10339-025-01327-z>
- Li, J. & Zhang, K. (2011). The effect of orientation coincidence of objects on intrinsic frame of reference system in symmetrical scene. *Acta Psychologica Sinica*, 43(3), 221–228.
- [李晶, 张侃. (2011). 对称场景中朝向一致性对内在参照系的影响. *心理学报*, 43(3), 221–228.]
- Mou, W., Fan, Y., McNamara, T. P., & Owen, C. B. (2008). Intrinsic frames of reference and egocentric viewpoints in scene recognition. *Cognition*, 106(2), 750–769.
- Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 28(1), 162–170.
- Mou, W., Zhao, M., & McNamara, T. P. (2007). Layout geometry in the selection of intrinsic frames of reference from multiple viewpoints. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 33, 145–154.
- Mou, W., Liu, X., & McNamara, T. P. (2009). Layout geometry in encoding and retrieval of spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 35(1), 83–93.
- Salm-Hoogstraeten, S. V., & Müsseler, J. (2021). Human cognition in interaction with robots: Taking the robot's perspective into account. *Human Factors*, 63(8), 1396–1407.
- Schafer, W., & Bowman, D. (2004). Evaluating the effects of frame of reference on spatial collaboration using desktop collaborative virtual environments. *Virtual Reality*, 7, 164–174.
- Schober, M. F. (2009). Spatial dialogue between partners with mismatched abilities. In K.R. Coventry, T. Tenbrink, & J. A. Bateman (Eds.), *Spatial language and dialogue* (pp. 23–39). Oxford: Oxford University Press.
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, 43, 274–310.
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2004). Spatial memory and perspective taking. *Memory & Cognition*, 32(3), 416–426.
- Simons, D. J., & Wang, R. F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, 9(4), 315–320.
- Sjolund, L. A., Erdman, M., & Kelly, J. W. (2014). Collaborative inhibition in spatial memory retrieval.

- Memory & Cognition*, 42(6), 876–885.
- Song, X., & Dong, M. (2023). A multidimensional representation model of interpersonal collaboration: From the perspective of cognitive representation. *Advances in Psychological Science*, 31(7), 1288–1302.
- [宋晓蕾, 董梅梅. (2023). 人际协同的多重表征模型——基于认知表征的视角. *心理科学进展*, 31(7), 1288–1302.]
- Song, X., Li, Y., & Zhang, K. (2024). Regional differences of large-scale spatial orientation ability in virtual environment. *Acta Psychologica Sinica*, 56(1), 1–14.
- [宋晓蕾, 李宜倩, 张凯歌. (2024). 虚拟环境中大尺度空间定向能力的地域差异. *心理学报*, 56(1), 1–14.]
- Street, W. N., & Wang, R. F. (2014). Differentiating spatial memory from spatial transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 40(2), 602–608.
- Tinti, C., Chiesa, S., Cavaglia, R., Dalmaso, S., Pia, L., & Schmidt, S. (2018). On my right or on your left? Spontaneous spatial perspective taking in blind people. *Consciousness & Cognition*, 62, 1–8.
- Valiquette, C. M., McNamara, T. P., & Smith, K. (2003). Locomotion, incidental learning, and the selection of spatial reference systems. *Memory & Cognition*, 31(3), 479–489.
- Wang, Y., Yu, X., Dou, Y., McNamara, T. P., & Li, J. (2021). Mental representations of recently learned nested environments. *Psychological Research*, 85(8), 2922–2934.
- Ward, E., Ganis, G., McDonough, K. L., & Bach, P. (2020). Perspective taking as virtual navigation? Perceptual simulation of what others see reflects their location in space but not their gaze. *Cognition*, 199, 104241.
- Xie, C., Liu, Q., Li, A., Tao, W., & Sun, H. (2009). Frame of reference in the mental representation of objects layout. *Acta Psychologica Sinica*, 41(5), 414–423.
- [谢超香, 刘强, 黎安娟, 陶维东, 孙弘进. (2009). 空间场景表征中的参照系选取. *心理学报*, 41(5), 414–423.]
- Xie, N. (2020). *The representation of spatial scenes in perspective taking condition* [Unpublished master's thesis]. Nanjing Normal University.
- [谢宁. (2020). *视角采择情境下的空间场景表征* (硕士学位论文). 南京师范大学.]
- Xiao, C., Fan, Y., Xu, L., & Zhou, R. (2019). Human-centered human-robot natural spatial language interaction. *Chinese Journal of Applied Psychology*, 25(4), 319–331.
- [肖承丽, 范丫, 徐刘飞, 周仁来. (2019). 以人为中心的人-机器人自然空间语言交互. *应用心理学*, 25(4), 319–331.]
- Xiao, C., Sui, Y., Xiao, S., & Zhou, R. (2021). A new perspective on spatial interaction research: The effects of multiple social factors. *Advances in Psychological Science*, 29(5), 796–805.
- [肖承丽, 隋雨繁, 肖苏衡, 周仁来. (2021). 空间交互研究新视角: 多重社会因素的影响. *心理科学进展*, 29(5), 796–805.]
- Xu, Z. (2017). *The effect of different visibility of perspective taking target on the automatic perspective taking*. [Unpublished master's thesis]. Zhejiang University.
- [徐阵雁. (2017). *观点采择对象的可视性对自动观点采择的影响* (硕士学位论文). 浙江大学.]
- Zhao, M., & Mou, W. (2005). Orientation specificity of spatial representation in multi-view learning. *Acta Psychologica Sinica*, 37(3), 308–313.
- [赵民涛, 牟炜民. (2005). 多视点学习条件下空间表征的朝向特异性. *心理学报*, 37(3), 308–313.]
- Zhou, J., Peng, Y., Li, Y., Deng, X., & Chen, H. (2022). Spontaneous perspective taking of an invisible person. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 48(11), 1186–1200.
- Zhou, R., & Zhang, K. (2005). Direction judgments based on integrating reference frames in imagination. *Chinese Journal of Ergonomics*, 11(2), 7–9+12.
- [周荣刚, 张侃. (2005). 基于参照系整合的想象空间方位转化判断. *人类工效学*, 11(2), 7–9+12.]

Integration of spatial frame of reference systems in collaborative tasks

QI Pei, LI Jing

(School of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract

Previous research has shown that spatial reference frame representation is a complex cognitive process influenced by factors such as the subject and object. Most prior studies had participants learn scenes individually, manipulating their perspective or the scene's structure to identify reference frame determinants, yet this approach largely overlooked the social aspects of human behavior. However, as social beings, people frequently engage in spatial interactions, where understanding others' perspectives is crucial for smooth interaction. Spatial collaboration, a key part of such interactions, involves tasks where individuals must work together to solve spatial problems. Building on past research, this study introduced a spatial collaboration task. Through three experiments, it focused on how individuals represented spatial reference frames during collaborative tasks and the conditions that enhanced the integration of these frames among participants.

In each experiment, participants first collaborated with another person to learn a scene and then completed a judgment of relative directions (JRDs) task individually. In Experiment 1, the partner stood at a position of 315° to investigate how individuals establish representations of spatial reference systems in spatial collaboration.

In Experiment 2, the partner's position was adjusted to 225° to create an approximate face-to-face situation to investigate the conditions that promote the integration of spatial frame of reference systems (FoRs). Building on these studies, Experiment 3 further manipulated the presence time of the partner to explore the time course and influencing factors of the integration of spatial FoRs.

The results of Experiment 1 showed that the pointing error of the participants under their own reference system was significantly lower than that under the partner's perspective in the JRDs tasks. This indicated that the participants represented the space from their own FoRs, and no evidence of the integration of the spatial FoRs was seen. The results of Experiment 2 showed that there was no significant difference in the pointing errors of the two reference systems, which verified that face-to-face interaction with collaborative partners promoted the integration of spatial FoRs. The results of Experiment 3 showed that there was no significant difference in the absolute pointing error of the two reference systems, and the participants could still complete the integration of FoRs. However, the joint analysis of the reaction times from Experiments 2 and 3 found that there were significant differences in the participants' reaction time performance between the two experiments, and whether the partner left early would affect the participants' spatial information processing.

Based on the above results, the conclusions are as follows: Firstly, multiple representation forms of FoRs existed in spatial collaborative tasks, with both single- and multi- frame representations possible. Secondly, the integration of FoRs in spatial collaboration was influenced by the partner's position. An angle approximating face-to-face was more conducive to integration than a side position. Thirdly, even when the partner's presence was reduced, participants could still integrate FoRs. However, when the partner left during the recovery phase, as opposed to being present throughout, participants formed a more profound partner-perspective representation.

Keywords spatial frame of reference system, spatial perspective-taking, spatial collaboration, integration of frame of reference systems