

多视点学习条件下空间表征的朝向特异性*

赵民涛^{1, 2} 牟炜民¹

(1中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101) (2中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 让被试在没有外界参照线索的条件下, 从三个观察视点学习物体场景, 首次以局部场景再认范式探讨了空间记忆中场景表征的朝向特异性。结果表明: (1)多视点学习条件下, 场景空间表征依然是依赖于特定朝向的, 不支持空间表征独立于朝向和空间表征依赖于多个观察朝向的观点。(2)场景空间表征的朝向依赖性不仅表现于方位判断任务, 也同样表现于场景再认任务。(3)场景本身的内在结构对空间表征中参照系的选取有重要影响。

关键词 空间表征, 朝向特异性, 场景再认, 空间参照系。

分类号 B842

1 引言

空间表征的朝向特异性 (orientation specificity), 一直是空间记忆研究领域争论和探讨的主要问题。近年来, 随着功能磁共振成像 (MRI) 和虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术的应用, 其研究层次也从认知行为表现^[1-5] 逐渐延伸到神经生理水平^[6-7]。在此基础上, 不同研究者分别提出了空间表征依赖于朝向 (orientation-specific) 和空间表征独立于朝向 (orientation-free) 两种观点。前者认为, 环境中物体之间的空间关系是以具有优势朝向的空间参照系 (spatial reference frame) 来表征的, 从优势朝向上提取空间信息要比从非优势朝向上提取信息更为迅速和准确^[4, 5, 8, 9]; 后者则提出, 表征物体位置与空间关系的参照系并不存在优势朝向, 表征中的信息可以在不同朝向上被同等程度的提取和通达^[1-3, 10]。

在支持空间表征依赖于朝向的研究中, McNamara及其同事认为, 空间表征是依赖于环境本身的内在参照系 (intrinsic frame of reference) 的^[11, 12]。但也有研究提出了空间表征依赖于多个观察视点 (multiple view-dependent) 的观点, 认为所有观察过的朝向都是空间表征的优势朝向, 从这些朝向提取空间信息要比从其他未曾观察过的朝向提取信息更为准确和迅速^[13, 14]。McNamara^[15] 以及 Shelton和 McNamara^[16] 由此提出存在两种空间表征的假

说, 认为空间记忆中可能同时存在着位置关系表征 (spatial memory) 和视觉记忆表征 (visual memory)。其中, 位置关系表征对方位判断任务敏感, 它依赖于场景本身的内在参照系。在与内在参照系一致的朝向上, 方位判断比较精确; 而在与其不一致的朝向上, 不管是否从该朝向上观察过场景, 方位判断都较不精确。而视觉记忆表征则对场景再认任务敏感, 它依赖于所有观察过的视点, 在与观察视点一致的朝向上, 场景再认比较迅速; 而在未曾观察过的朝向上, 不管该朝向是否与场景内在参照系一致, 场景再认都相对较差。空间表征的朝向特异性是否受反应方式的影响, 空间表征中是否存在依赖于多个观察视点的视觉记忆表征, 迄今还没有场景再认方面的研究对此进行直接的探讨。本研究的主要目的, 就是以局部场景再认任务 (partial scene recognition) 来考察多视点学习条件下空间表征的朝向特异性, 并通过与以往研究相比较, 对 McNamara提出的两种表征的假说进行初步的检测。

空间表征的朝向特异性也会受到所选取的空间参照系的影响。Shelton和 McNamara^[5] 发现, 较强的外界参照线索对选取特定朝向空间参照系具有决定作用。他们让被试从两个相差 135度的视点分别学习物体场景后, 进行相对方位判断 (judgment of relative directions) (比如, “想像你站在物体甲, 面对物体乙, 请指向物体丙”), 结果表明, 只有和房间结构一致的观察视点才被表征。而且, 与外界参照线

收稿日期: 2004-12-28

* 国家自然科学基金项目 (30470576), 中国科学院“百人计划”项目。

通讯作者: 牟炜民, E-mail: mouw@psych.ac.cn

索一致的互相垂直的两个学习朝向可以被同时表征^[17]。Mou和McNamara也提供了在指导语作用下,场景内在结构影响特定朝向空间参照系选取的实验证据^[11]。如果剔除外界线索和指导语的影响作用,在自然学习条件下,场景内在结构对空间参照系的选取是否还会有影响作用?据此,我们在实验中让被试在没有外在参照环境的圆形房间中学习场景中物体的空间位置,以此来考察单纯的内在场景结构对空间表征朝向特异性的影响。如果场景内在结构与空间参照系的选取无关,被试应表现出学习顺序效应,即初始观察视点(initial view)决定场景空间表征的优势朝向^[5];或者表征所有的观察视点,即所有观察过的朝向都是空间表征的优势朝向。如果场景内在结构可以直接影响空间参照系的选取,被试应该不受学习顺序的影响,更倾向于选择与内在结构一致的空间参照系来表征场景中物体的位置。为使实验具有可比性,我们采用了Mou和McNamara^[11]实验中的学习场景。

2 方法

2.1 被试

40名本科生参加了本实验并获得报酬,其中男、女各20名,视力或矫正视力正常。

2.2 实验材料

学习场景由布置在圆形房间(直径3m,由黑色帘幕围成,上至天花板下达地板)中的7个物体组成,各物体间没有意义联系且在视觉特征上有明显区别(图1)。按同样原则选取另外5个物体组成练习场景,其结构与学习场景不同。测试场景是由3个物体构成的局部场景,这些局部场景由虚拟现实软件ImageTcAR^[18]以俯视角度渲染生成,以黑色为背景呈现在DELL19英寸显示器上。所有测试场景取自0到315°以45°为间隔的8个朝向,每个朝向6个局部场景(对应于已有研究中相对方位判断任务中的不同指向),不同朝向之间局部场景的结构复杂性平衡,共48个目标场景。根据目标场景相应生成48个干扰场景,生成规则是:把目标场景中的一个物体,随机移动到其他未选入该场景中的某个物体的位置。每个被试有8(朝向)×6(局部场景)×2(目标或干扰场景)共96个用于测试的局部场景。

2.3 实验设计

实验采用2×2×8混合实验设计。被试间变量为性别(男、女)和学习顺序,随机安排其中一组被

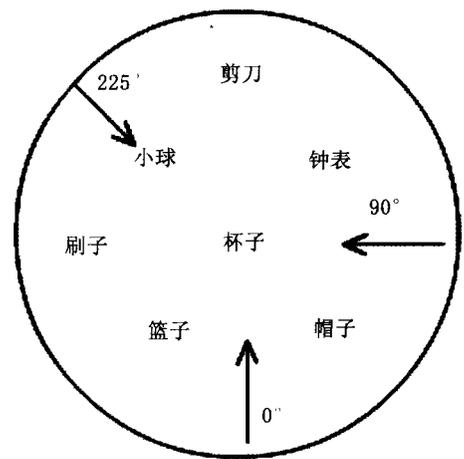


图1 圆房间中的物体位置与学习朝向

试按照0°—90°—225°顺序学习,另外一组按225°—90°—0°顺序学习,男女比例在学习顺序内相等。被试内变量为局部场景的朝向,有0°到315°共8个水平。因变量为反应时和错误率,实验要求被试尽可能精确的做出判断,所以反应时为最主要的因变量。

2.4 实验程序与任务

实验程序分为练习、学习和测试三个阶段,每个被试逐一进行实验。练习阶段,被试根据练习场景做局部场景再认测试并得到反馈,以明确实验任务和要求。在学习阶段,被试戴上眼罩,在主试带领下进入圆房间中的第一个学习地点0°(或225°),调整好身体朝向。然后,主试让被试取下眼罩记忆场景中物体的位置并开始记时,30s后主试要求被试闭上眼睛,用手尽量准确的指向物体并说出其名称。在学习30s闭上眼睛指一遍的程序持续5遍之后,被试带上眼罩,在主试带领下按逆时针方向(225°—90°—0°顺序)走到第二和第三个观察视点,按同样方式各学5遍。整个学习过程中,被试身体朝向与观察视点保持一致,但可以转动头部并按任意次序学习物体的位置。学习结束后被试戴上眼罩,由主试带到另一个房间参加测试。在测试阶段,被试的任务是区分目标场景和干扰场景,即判断测试场景中的物体空间关系是否与学习过的相一致。被试用拇指按空格键启动测试,局部场景呈现的同时记时开始,被试分别用右手按“J”键(当判断为目标场景时)或左手按“F”键(当判断为干扰场景时)做出反应。测试过程中全部局部场景的呈现顺序完全随机。实验指导语要求被试在准确基础上尽快做出反应。

3 结果与分析

表 1 给出了被试正确判断不同朝向目标场景的平均反应时,表 2 是被试对不同朝向目标场景进行

判断时的平均错误率。用 SPSS 11.5 对被试的反应时和错误率做相关分析, $r = 0.53$, $p < 0.05$, 二者显著正相关, 说明被试的反应不存在速度-准确性的权衡效应。

表 1 被试正确判断目标场景的平均反应时(秒)

学习顺序	局部场景朝向(度)							
	0	45	90	135	180	225	270	315
0-90-225	13.28(7.58)	10.49(4.63)	15.31(9.79)	10.10(4.16)	14.61(7.71)	11.53(6.28)	14.45(8.48)	10.14(4.42)
225-90-0	8.51(3.03)	9.37(5.18)	11.64(6.63)	10.01(5.96)	10.47(5.41)	8.26(3.22)	10.17(3.26)	9.47(4.22)

注: 括号内为标准差, 下同。

表 2 被试对目标场景做判断时的平均错误率(%)

学习顺序	局部场景朝向(度)							
	0	45	90	135	180	225	270	315
0-90-225	17.5(13.8)	18.3(18.7)	26.7(23.2)	12.5(14.2)	13.3(16.8)	10.8(12.4)	19.2(18.2)	15.0(17.0)
225-90-0	15.0(20.9)	15.0(17.0)	18.3(24.1)	12.5(16.1)	14.2(16.5)	11.7(16.3)	19.2(20.4)	17.5(19.1)

3.1 反应时

用 SPSS 11.5 对被试正确判断目标场景的反应时进行 $2(\text{性别}) \times 2(\text{学习顺序}) \times 8(\text{场景朝向})$ 重复测量 ANOVA, 结果发现只有场景朝向具有主效应, $F(7, 252) = 4.304$, $p < 0.001$, 说明被试完成局部场景再认的速度受到局部场景朝向的影响。被试在垂直的 $225^\circ-45^\circ$ 轴和 $315^\circ-135^\circ$ 轴上的反应要比在垂直的 $0^\circ-180^\circ$ 轴和 $90^\circ-270^\circ$ 轴上反应要快, $F(1, 252) = 23.12$, $p < 0.001$, 显示出锯齿状反应模式 (saw tooth pattern) (图 2)。计划的线性比较显示, 被试对 225° 朝向的局部场景做出正确判断的速度, 显著的快于判断 0° 和 90° 朝向局部场景的平均水平, $F(1, 252) = 7.12$, $p < 0.01$; 而且, 后者甚至比在新颖朝向上的正确判断速度还要慢, $F(1, 252) = 4.59$, $p < 0.05$ 。这表明被试既没有形成独立于朝向的表征, 也没有同时表征所有观察视点朝向 (图 3)。被试在两种学习顺序上的反应时差异接近显著, $F(1, 36) = 3.90$, $p = 0.06$ 但学习顺序与局部场景朝向之间没有交互作用, $F(7, 252) = 1.71$, $p = 0.107$, 说明被试对场景的初始观察视点 (最先学习的 0° 或者 225° 视点) 并没有直接决定场景表征的朝向特异性, 两种学习顺序在反应模式上是一致的。不同性别之间未发现显著差别, $F(1, 36) = 0.08$, $p = 0.78$ 。

3.2 错误率

用 SPSS 11.5 对被试判断目标场景的错误率进行 $2(\text{性别}) \times 2(\text{学习顺序}) \times 8(\text{场景朝向})$ 重复测量 ANOVA, 结果与反应时一致, 只有场景朝向具有

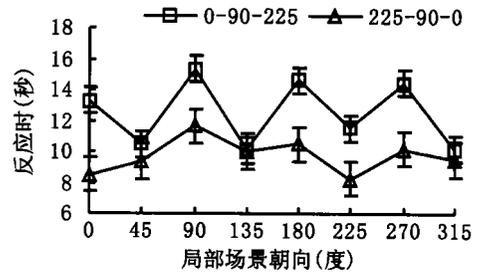


图 2 不同朝向局部场景再认的反应时

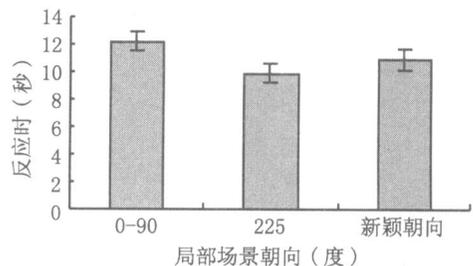


图 3 对 0° 和 90° , 225° 和 新颖朝向 场景再认的反应时

主效应, $F(7, 252) = 2.197$, $p = 0.035$, 说明被试完成局部场景再认的准确性受到局部场景朝向的影响 (图 4)。计划的线性比较显示, 被试对 225° 朝向的局部场景做出判断的错误率显著的低于判断垂直的 0° 和 90° 的局部场景的平均水平, $F(1, 252) = 7.30$, $p < 0.01$; 而后者与在 新颖朝向 上的判断准确性之间没有显著性差别, $F(1, 252) = 3.26$, $p > 0.05$ 。被试在 90° 朝向上的错误率甚至显著地高于未曾学过的 新颖朝向 上的平均水平, $F(1, 252) = 6.46$, $p < 0.05$ 。图 5 说明, 被试并没有形成独立于朝向的空间表征, 也没有表征所有学习过的观察视点。被试

的再认准确性在两种学习顺序之间没有显著差别, $F(1, 36) = 0.152, p = 0.699$ 。学习顺序与局部场景朝向之间没有交互作用, $F(7, 252) = 0.485, p = 0.845$ 。由图4可见,二者具有几乎完全一样的反应模式。男生比女生反应更为准确, $F(1, 36) = 4.313, p < 0.05$ 。

图2和图4中两种学习顺序在反应时和错误率上相似的反应模式说明,场景空间表征依赖于特定朝向,被试没有表征所有观察过的视点。而且,场景空间表征的朝向特异性与学习顺序无关,被试形成的空间表征并不决定于初始观察视点。

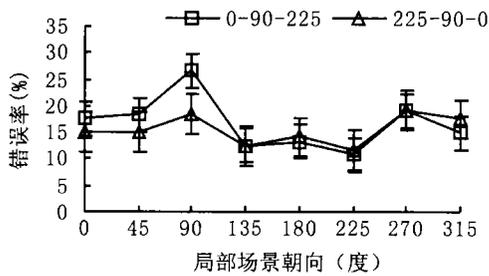


图4 不同朝向局部场景再认的错误率

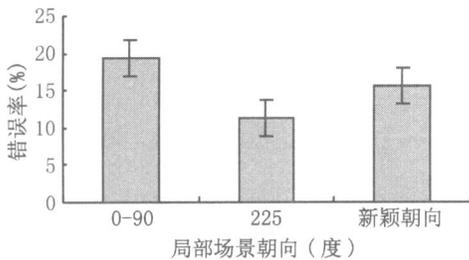


图5 对0°和90°, 225°和新颖朝向场景再认的错误率

4 讨论

4.1 多视点学习条件下空间表征的朝向依赖性

在局部场景再认实验范式下,本研究给出了多视点学习形成的空间表征依然是倚赖于特定朝向的实验证据。在反应时和准确性指标上,被试的反应有规律的受到局部场景朝向的影响,说明在被试并没有形成独立于朝向的空间表征。被试也没有在记忆中同时表征所有的观察视点,因为被试在互相垂直的0°和90°朝向上的平均水平显著的低于225°朝向,而且与其他新颖朝向的平均水平没有差别甚至更差。被试的反应一致的受到场景内在参照系的影响:在与其一致的朝向上,局部场景再认迅速而且准确;在与其不一致的朝向上,不管先前是否观察过,局部场景再认成绩都相对较差。这与方位判断任务中场景空间表征依赖于特定朝向的研究结果相一

致^[4, 5, 8, 9, 19]。多视点学习条件下空间表征的朝向依赖性说明,即使在没有任何外界参照线索的条件下,被试也没有同时表征所有经历过的观察视点,而是表征了多个学习朝向中与内在参照系相一致的特定朝向。

4.2 不同反应任务中空间表征的朝向依赖性

根据McNamara提出的假说,空间记忆中位置关系表征和视觉记忆表征分别对方位判断任务和场景再认任务敏感,前者依赖于场景内在结构,而后者依赖于多个观察视点,因此两种表征应该表现出不同的朝向依赖性。但本研究应用局部场景再认任务却得到了和已有研究中方位判断任务相一致的结果,二者甚至都显示出了相似的锯齿状反应模式^[11, 17, 20]。被试的反应速度与准确性只受测试场景朝向是否与场景内在参照系一致的影响,而与该朝向是否经历过无关。该结果表明,即使在局部场景再认任务中,我们也没有发现依赖于多个观察视点的视觉记忆表征存在的证据(图3图5)。因此,不论在场景再认还是在方位判断条件下,空间记忆中可能都只存在着同一种表征,即依赖于内在参照系的位置关系表征。该结果也不支持Wang^[21]提出的空间表征对不同反应任务具有不同通达性的观点,而与Wraga^[22]提出的不同空间任务依赖于同一空间表征的观点相一致。将本实验与先前研究相比较表明,场景空间表征的朝向依赖性并不局限于方位判断任务,而是同样敏感的作用于场景再认任务。

4.3 场景内在结构影响空间参照系的选取

根据McNamara等人提出的观点^[5, 11, 12, 15],人对环境中物体空间关系的内在表征是建立在空间参照系选取(selection of spatial reference frame)的基础之上的,观察视点、学习顺序、外界参照环境和指导语等都是影响空间参照系选取的因素。在此基础上,本研究在没有外界线索和多视点自然学习的条件下,进一步提供了场景内在结构直接影响空间参照系选取的实验证据。三个学习视点中,在225°的观察朝向上物体场景具有明显的对称性。因而被试在表征场景中物体空间关系时,不管首先还是最后经历这一视点,都一致的选取了依赖于该对称性结构的空间参照系。这与Quinlan和Humphreys研究中,对称性对基于空间参照系进行的二维图形识别有重要影响的结果相一致^[23]。而且,较强的对称性线索甚至克服了初始观察视点对空间参照系选取的影响,使被试在反应上并没有表现出学习顺序的效应。图2和图4中,被试在两种学习顺序上反应模

式的一致性说明,在没有外在参照线索的情况下,场景的内在结构对表征中空间参照系的选取有着重要的影响。

5 结论

本研究首次将多视点学习与局部场景再认条件结合起来考察场景空间表征的朝向特异性,在此范式下可得到如下结论:

(1)多视点学习条件下的空间表征是依赖于特定朝向的,不支持空间表征独立于朝向的观点,也不支持空间记忆中存在着依赖于多个观察视点的视觉记忆表征的观点。

(2)空间表征的朝向依赖性并不受反应方式是方位判断任务还是场景再认任务的影响。

(3)场景本身的内在结构对表征中空间参照系的选取有重要影响。

参 考 文 献

- 1 Presson C C, Hazelrigg M D. Building spatial representations through primary and secondary learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 1984, 10(4): 716~722
- 2 Sholl M J, Nolin T L. Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 1997, 23(6): 1494~1507
- 3 Sun H J, Chan G S W, Campos J L. Active navigation and orientation-free spatial representations. *Memory & Cognition* 2004, 32(1): 51~71
- 4 Roskos-Ewoldsen B M, McNamara T P, Shelton A L. Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 1998, 24(1): 215~226
- 5 Shelton A L, McNamara T P. Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology* 2001, 43(4): 274~310
- 6 King J A, Burgess N, Hartley T, et al. Human hippocampus and viewpoint dependence in spatial memory. *Hippocampus* 2003, 12(6): 811~820
- 7 Epstein R, Graham K S, Downing P E. Viewpoint-Specific Scene Representations in Human Parietal Cortex. *Neuron* 2003, 37(5): 865~876
- 8 Rieser J J. Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 1989, 15(6): 1157~1165
- 9 Weimer S, Schmidt K. Environmental frames of reference for large scale spaces. *Spatial cognition and computation*, 1999, 1: 447

~473

- 10 Presson C C, DeLange N, Hazelrigg M D. Orientation specificity in spatial memory: what makes a path different from a map of the path? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 1989, 15(5): 887~897
- 11 Mou W, McNamara T P. Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 2002, 28(1): 162~170
- 12 Mou W, McNamara T P, Valiquette C M, et al. Allocentric and egocentric updating of spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 2004, 30(1): 142~157
- 13 Shelton A L, McNamara T P. Orientation and perspective dependence in route and survey learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 2004, 30(1): 158~170
- 14 Sholl M J, Bartels G P. The role of self-to-object updating in orientation-free performance on spatial memory tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 2002, 28(3): 422~436
- 15 McNamara T P. How are the locations of objects in the environment represented in memory? In: Freksa C, Brauer W, Habel C, Wender K (Eds.) *Spatial cognition III: Routes and navigation, human memory and learning: spatial representation and spatial reasoning*. New York: Springer, 2003. 174~191
- 16 Shelton A L, McNamara T P. Spatial memory and perspective taking. *Memory & Cognition* 2004, 32(3): 416~426
- 17 Shelton A L, McNamara T P. Multiple views of spatial memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1997, 4(1): 102~106
- 18 Owen C, Tang A, Xiao F. ImageTclAR: A blended script and compiled code development system for augmented reality. *STARS 2003: The International Workshop on Software Technology for Augmented Reality Systems*, October 7, 2003, Tokyo, Japan
- 19 Waller D, Montello D R, Richardson A E, et al. Orientation specificity and spatial updating. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 2002, 28(6): 1051~1063
- 20 Valiquette C M, McNamara T P, Smith K. Locomotion, incidental learning and the selection of spatial reference systems. *Memory & Cognition* 2003, 31(3): 479~489
- 21 Wang R F. Action, verbal response and spatial reasoning. *Cognition* 2004, 94(2): 185~192
- 22 Wraga M. Thinking outside the body: an advantage for spatial updating during imagined versus physical self rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 2003, 29(5): 993~1005
- 23 Quinlan P T, Humphreys G W. Perceptual frames of reference and two-dimensional shape recognition: further examination of internal axes. *Perception* 1993, 22(11): 1343~1364

ORIENTATION SPECIFICITY OF SPATIAL REPRESENTATION IN MULTIVIEW LEARNING

Zhao Minto^{1, 2}, Mou Weimin¹

(¹State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

The experiment was designed to test the orientation specificity of the spatial representation under multiview learning condition without any cues of external reference frame. Participants learned the layout in the cylinder room from three viewpoints (0, 90 and 225, respectively), and then were tested in another room using the partial scene recognition tasks. The results showed that all headings aligned with the symmetric axis of the layout were represented, supporting the orientation-specific theory, against the orientation-free spatial representation or multiple view-dependent visual memory representation. The intrinsic property of the layout (e.g. symmetry) might play an important role in selecting a spatial reference frame to represent the location of objects in the layout.

Key words spatial representation, orientation specificity, scene recognition, spatial reference frame