

# 空间再定向中的线索利用

胡晶莹

天津师范大学心理学部, 天津  
Email: 15927390581@163.com

收稿日期: 2021年4月6日; 录用日期: 2021年4月23日; 发布日期: 2021年4月30日

---

## 摘要

自然界中存在着丰富的空间线索, 如何利用有效的空间线索进行再定向一直是研究的热点问题。近几年关于再定向的研究发现, 人类对空间线索的利用受到年龄、过去经验、主动性等因素的影响。一些研究发现, 在多种线索存在的情况下, 人类能够以贝叶斯最优的方式对不同的线索进行整合, 提高再定向的精度和准确度; 线索发生冲突时, 人类对线索的选择取决于线索相对权重大小。本文通过对近几年再定向研究的总结, 阐明再定向中的线索利用机制, 为后续的研究做铺垫。

## 关键词

再定向, 线索组合, 线索冲突, 贝叶斯定理

---

# The Use of Cues in Spatial Reorientation

Jingying Hu

Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin  
Email: 15927390581@163.com

Received: Apr. 6<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2021; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

There are abundant spatial cues in nature. How to use the effective spatial cues for redirection has always been a hot research issue. Recent studies on redirection have found that human's use of spatial cues is influenced by factors such as age, past experience and initiative. Some studies have found that in the presence of multiple cues, humans can integrate different cues in a Bayesian optimal way to improve the accuracy and accuracy of redirection. When the cue conflicts, the choice of the cue depends on the relative weight of the cue. In this paper, a summary of redirection research in recent years is made to clarify the mechanism of cue utilization in redirection, which will

pave the way for further research.

## Keywords

Reorientation, Cue Combination, Cue Conflict, Bayes' Theory

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 空间再定向概述

### 1.1. 空间再定向

寻路(wayfinding)是指意识到自己当前的位置并巡航另一个无法见到位置的能力[1]，定向(orientation)则是一个人在环境中成功完成寻路的首要能力。当人类或动物在空间中迷失方向时，会根据外部环境线索或内部的自我运动线索重新确定自己的方向，这一过程称为空间再定向。再定向过程包含两个重要的组成部分：重新定向(找到朝向)和找到目标[2] [3] [4]。

### 1.2. 空间线索

自然界中存在丰富的空间线索，这些线索对人类和动物的生存具有重要的适应作用。空间线索依据有效性可以分为两类，有效的空间线索和无效的空间线索。例如，我们去一个陌生公园游玩时，欣赏着沿途美丽的风景，回过神来，发现自己身处一个陌生的地方，周围可以利用的线索有：溪水的流向、特色建筑、行人、车辆。其中，溪水的流向、特色建筑可以提供空间定位的相关信息，称为有效线索；行人、车辆不能提供空间定位的相关信息，甚至阻碍巡航者进行空间定位，称为无效线索。

空间线索依据内外部位置可以分为两类：内部自我运动线索和外部环境线索[5]。内部自我运动线索是指由自我运动产生的身体信息，以自我为中心，如前庭和本体感受的刺激、传出的运动指令、光和声流等。其中，路径整合是结合多种自我运动线索，包括前庭和本体感受的刺激、传出的运动指令、光和声流，不断更新自我位置的过程，即从起点到终点位置距离和方向的矢量和。路径整合的错误随时间和运动不断累积，走的越多，转弯越多，被试对自我位置估计的错误就越大。外部的环境线索是指来自外部世界的输入，以环境为中心，如几何线索、特征线索、坡度线索等。几何线索是指那些可以由几何原理定义的线索，包括由平面相交形成的延伸面和角度。房间形状(room shape)就属于几何线索。特征线索是那些不能仅仅由扩展表面的几何形状来定义的线索，通常比几何线索范围更局部(localized)。例如，校园里独特的雕像或房间墙上的艺术品。

### 1.3. 贝叶斯定理

“贝叶斯定理”是由托马斯·贝叶斯(Thomas Bayes)所提出，在解决不确定条件下关联概率计算方面具有突出的贡献。贝叶斯定理是基于下述的贝叶斯公式：

$$P(A|B) = P(B|A)P(A)/P(B)$$

这一公式的含义是：B事件发生的情况下，A事件发生的概率，等于A事件存在的情况下，B事件发生的概率，乘以A事件发生的总体概率，除以B事件发生的总体概率。

## 1.4. 贝叶斯最优线索组合

贝叶斯理论为空间中不同线索的组合提供了一种系统的、定量的研究方法，该理论采用极大似然估计来确定多线索组合的最优性，通过线索相对可靠性进行加权。线索可靠性通常与反应方差成反比，故最优组合使行为反应方差降到最低[5][6]。

对于双线索条件，根据贝叶斯定律，当两线索均有效时，与两个线索( $X$  和  $Y$ )相关的最优权值( $W$ )、两线索组合的最优估计方差( $\sigma_{X+Y}^2$ )是(参考 A. D. Twyman *et al.*, 2018):

$$W_X = \sigma_Y^2 / (\sigma_X^2 / \sigma_Y^2) \quad (1)$$

$$W_Y = \sigma_X^2 / (\sigma_X^2 / \sigma_Y^2) \quad (2)$$

$$\sigma_{X+Y}^2 = w_X^2 \sigma_X^2 + w_Y^2 \sigma_Y^2 \quad (3)$$

其中， $W_X$  表示线索  $X$  的最优权值， $W_Y$  表示线索  $Y$  的最优权值， $W_X + W_Y = 1$ ， $\sigma_{X+Y}^2$  表示贝叶斯定理预测的最优组合方差。

当两线索冲突时，与两个线索( $X$  和  $Y$ )相关的实际权值( $W_A$ )是(参考 A. D. Twyman *et al.*, 2018):

$$W_{AX} = \frac{AD_Y}{AD_Y + AD_X} \quad (4)$$

其中， $W_{AX}$  表示依据线索  $X$  时的实际权值， $AD_X$  表示依据线索  $X$  时的反应误差角度。

在 Sjolund 等(2018)的研究中，被试将方形房间的形状线索与路径整合线索以贝叶斯最优的方式整合在一起，其定位的准确性远高于单独依靠每一种线索[7]。

## 2. 空间再定向的相关研究

根据再定向研究中所涉及的线索类型，可分为：1) 环境线索相关研究；2) 路径整合线索研究；3) 多线索研究，包括线索组合(贝叶斯最优整合&非贝叶斯线索整合)和线索冲突研究。

### 2.1. 环境线索研究

Wang 和 Mou (2019)进行了 3 个实验，探究再定向过程中房间大小对几何线索和非几何线索使用的影响，以及房间大小效应发生在记忆的那个阶段。其研究表明，使用冲突线索时，房间大小影响线索偏好，但不影响测试过程中反应的准确性。结果支持提取假设，即房间大小不影响编码强度(反应精确度)，但只直接影响线索权重。随后，Wang 等研究边界的整体形状在物体位置记忆中的作用，以验证形状分割假说和足够参考点假说的正确性。其研究发现，这些发现表明，虽然边界上的单个参考点对于编码特定的目标位置很重要，但边界的全局形状会影响单个参考点的分割和选择[8]。

### 2.2. 路径整合线索研究

Guo、Huang 和 Wan (2018)进行 2 个实验，探究再定向过程中路线决策和先前经验对路径整合的影响。两实验的结果都表明，在第一天的路线决策对被试的行为有促进作用；被试在第二天的行为表现和路线选择策略受第一天所获得的经验的影响。总的来说，这些结果表明，如果能够对外出路径的结构进行选择 and/或拥有更多与任务相关的经验，可以提高人类的路径整合行为[9]。

### 2.3. 多线索组合研究

#### 2.3.1. 线索组合

Nardini 等(2008)以儿童、成人作为被试，探究再定向过程对路标、路径整合线索的使用，并与贝叶

斯整合理论及交替模型进行行为比较。实验设置 4 种线索条件：仅路径整合线索、仅路标线索、两线索组合，两线索冲突  $15^\circ$ 。研究发现，与单线索条件相比，成人在组合条件下的反应方差显著减少，儿童身上未发现此效应。此外，在线索冲突(干扰)条件下成人反应的相对距离反映了能被单线索条件下方差所预测的最优权重。即，成人以贝叶斯最佳方式组合路标和路径整合线索，而儿童则在线索之间交替选择[10]。

Sjolund、Kelly 和 Mcnamara (2017)进行 2 个实验，试图探讨路径整合和环境线索组合是否会减少被试回到起点位置的反应误差，即成人在导航过程中是否对环境线索和路径整合线索进行贝叶斯最优整合。实验 1 研究发现，成年人以贝叶斯最优的方式将环境线索(如房间形状和路标)与路径整合线索进行组合，提高行为反应的精度。实验 2 的研究发现：在大线索冲突条件下，被试给路径整合分配了很高的权重(相比环境线索)，尽管环境线索提供了相对较高的精度[7]。

Chen 等(2017)进行 4 个实验，试图探讨视觉线索和自我运动的身体线索在空间导航中的组合方式，让被试在沉浸式虚拟环境中完成归巢任务[5]。在实验 1A 和 1B 中，分别操纵视觉线索和自我运动线索的可靠性，采用被试内设计，结果发现，被试对视觉线索和自我运动线索的加权是基于它们的可靠性程度，在多数情况下能够按照贝叶斯最优或近优的方式进行加权。在实验 2 中，操纵视觉线索的稳定性，结果发现，线索不稳定性通过影响线索可靠性间接影响线索权重。实验 3 中，通过对被试行为表现的准确性提供虚假反馈误导被试关于线索的可靠性，实验分为视觉积极组和自我运动积极组，研究发现对给定线索的准确度的正面反馈提高了该线索的相对准确度，贝叶斯原理在很大程度上仍然适用。实验 4 研究了行为表现误差、行为表现信心度、线索权重和空间能力之间的关系。实验发现：线索相对信心以及线索可靠性对观察的权重有独特的贡献；随着时间的推移，行为表现的方差不如信息评定稳定；心理旋转得分高的被试在使用自我运动线索时的表现较好。综合以上实验结果，可得：观察到的线索权重与线索可靠性之间存在一致的相关，表明线索权重加工遵循贝叶斯原理；对行为结果的主观评价在线索加权过程中具有重要作用，这有利于扩展人类空间导航中线索的可靠性这一概念。

Zhang 和 Mou (2018)进行 2 个实验研究了在大型虚拟环境中，通过控制游戏轮和踏板，在确定人的位置和方向判断时，自我运动线索和路标线索如何相互作用[11]。这些发现表明，当人们在大规模的环境中驾驶时，将持续依靠自我运动线索、路径整合计算朝向，但仅在需要的时候才会计算位置。依靠移位的近端路标或旋转的远端场景，选择性地驾驶重置由路径整合产生的位置或朝向表征。

### 2.3.2. 线索冲突

在大线索冲突的条件下，动物和人类的导航研究表明，有时一个线索会被另一个线索所取代。Zhao 和 Warren (2015b)研究路标阵列和路径整合线索处于  $0^\circ\sim 135^\circ$ 冲突时，线索的组合和竞争情况[12]。被试在单线索和双线索条件下进行“三角形完成任务”，反应误差代表反应精度。研究结果发现：在双线索条件下，路标阵列和路径整合线索处于  $0^\circ\sim 90^\circ$ 冲突时，被试行为表现的反应误差与两线索近优组合(near-optimal combination)的误差相一致。然而，代表反应的精确度的归巢方向，被单个线索(超过其他线索)所支配。研究结果表明：在小冲突条件下( $0^\circ\sim 90^\circ$ )，路标阵列和路径整合线索以近优的方式组合，提高反应的精度。当路标线索和路径整合线索处于  $115^\circ\sim 135^\circ$ 冲突时，归巢方向将会被路径整合所控制。用小鼠进行的研究也得到了类似的结果，当路标线索与路径整合线索产生较大的冲突，小鼠会放弃使用路标线索[13]，尽管他们将继续沿着一系列的路标前行[14]。

## 3. 研究总结

综上所述，环境线索(几何线索和特征线索)和路径整合线索都对被试在导航过程中的重定位产生影响，两者能够以贝叶斯近优或最优的方式进行整合，提高导航员的导航精度和准确度。当这两种线索发

生冲突时(阈上冲突), 被试给路径整合分配了很高的权重(相比环境线索)。

在小线索冲突条件下的线索组合以及在大线索冲突条件下对路径整合的依赖是有意义的, 因为小线索冲突可归因于感觉噪声, 然而大线索冲突可能是由于对路标标识的回忆失败或混淆所造成(如, 哪棵树标记了目标位置), 在这种情况下, 被试会忽略该线索。从这个意义上说, 在大线索冲突条件下放弃路标线索可能未达到贝叶斯意义上最优选择, 但在考虑大冲突条件的产生因素时, 不失为一个合理的选择。也有研究者提出了类似的论点, 以解决知觉领域中较大的感觉冲突[15]。

然而, 一些研究者提出相反的意见, 认为人类在导航过程中能依靠路径整合获得测量知识, 但不能整合路标信息以形成精确的认知地图, 因此只能仅依赖路标或者仅依赖路径整合进行导航[16]。李丹等(2015)认为, 导航者同时利用路标和自身运动信息与单独利用路标的导航表现无显著差异, 却显著优于单独利用自身运动信息的导航表现, 并从资源限制理论的角度解释路标学习与路径整合之间的相互干扰[17]。未来研究应更多关注空间线索对导航行为的作用效果, 并利用虚拟现实技术等手段深入探究相应的信息加工机制。

## 参考文献

- [1] Mittelstaedt, M.L. and Mittelstaedt, H. (1980) Homing by Path Integration in a Mammal. *Naturwissenschaften*, **67**, 566-567. <https://doi.org/10.1007/BF00450672>
- [2] Lee, S.A. (2017) The Boundary-Based View of Spatial Cognition: A Synthesis. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, **16**, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.03.006>
- [3] Lee, S.A. and Spelke, E.S. (2010) A Modular Geometric Mechanism for Reorientation in Children. *Cognitive Psychology*, **61**, 152-176. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2010.04.002>
- [4] Lee, S.A. and Spelke, E.S. (2010) Two Systems of Spatial Representation Underlying Navigation. *Experimental Brain Research*, **206**, 179-188. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2349-5>
- [5] Chen, X., Mcnamara, T.P., Kelly, J.W. and Wolbers, T. (2017) Cue Combination in Human Spatial Navigation. *Cognitive Psychology*, **95**, 105-144. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2017.04.003>
- [6] Cheng, K., Shettleworth, S.J., Huttenlocher, J. and Rieser, J.J. (2007) Bayesian Integration of Spatial Information. *Psychological Bulletin*, **133**, 625-637. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.625>
- [7] Sjolund, L.A., Kelly, J.W. and Mcnamara, T.P. (2017) Optimal Combination of Environmental Cues and Path Integration during Navigation. *Memory & Cognition*, **46**, 89-99. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0747-7>
- [8] Wang, L. and Mou, W. (2019) Effect of Room Size on Geometry and Features Cue Preference during Reorientation: Modulating Encoding Strength or Cue Weighting. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **73**, 225-238. <https://doi.org/10.1177/1747021819872159>
- [9] Guo, J., Huang, J. and Wan, X. (2018) Influence of Route Decision-Making and Experience on Human Path Integration. *Acta Psychologica*, **193**, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.12.005>
- [10] Nardini, M., Jones, P., Bedford, R. and Braddick, O. (2008) Development of Cue Integration in Human Navigation. *Current Biology*, **18**, 689-693. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.04.021>
- [11] Zhang, L. and Mou, W. (2018) Selective Resetting Position and Heading Estimations While Driving in a Large-Scale Immersive Virtual Environment. *Experimental Brain Research*, **237**, 335-350. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5417-x>
- [12] Zhao, M. and Warren, W.H. (2015) How You Get There From Here: Interaction of Visual Landmarks and Path Integration in Human Navigation. *Psychological Science*, **26**, 915-924. <https://doi.org/10.1177/0956797615574952>
- [13] Shettleworth, S.J. and Sutton, J.E. (2005) Multiple Systems for Spatial Learning: Dead Reckoning and Beacon Homing in Rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **31**, 125-141. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.31.2.125>
- [14] Suzuki, S., Augerinos, G. and Black, A.H. (1980) Stimulus Control of Spatial Behavior on the Eight-Arm Maze in Rats. *Learning and Motivation*, **11**, 1-18. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(80\)90018-1](https://doi.org/10.1016/0023-9690(80)90018-1)
- [15] Knill, D.C. (2007) Robust Cue Integration: A Bayesian Model and Evidence from Cue-Conflict Studies with Stereoscopic and Figure Cues to Slant. *Journal of Vision*, **7**, Article No. 5. <https://doi.org/10.1167/7.7.5>
- [16] Foo, P., Warren, W.H., Duchon, A. and Tarr, M.J. (2005) Do Humans Integrate Routes into a Cognitive Map? Map-



---

versus Land-Mark-Based Navigation of Novel Shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, **31**, 195-215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.2.195>

- [17] 李丹, 杨昭宁. 空间导航: 路标学习和路径整合的关系[J]. 心理科学进展, 2015, 23(10): 1755-1762.