



中国科学院空天信息创新研究院

Aerospace Information Research Institute (AIR)
Chinese Academy of Sciences (CAS)

“杭州 2021 GIS年会”学术交流报告



虚拟地理环境背景下 空间/具身认知研究

龚建华研究员

2021/10/16

中国科学院空天信息创新研究院

国家遥感应用工程技术研究中心





心理学是虚拟现实的“物理学”

Markley, R., ed. Virtual Realities and Their Discontents Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD(1996).

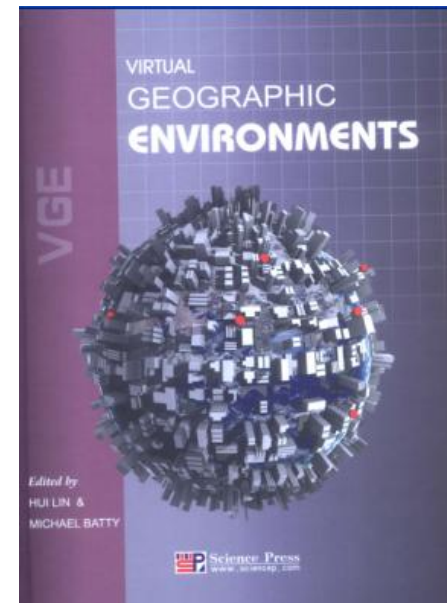
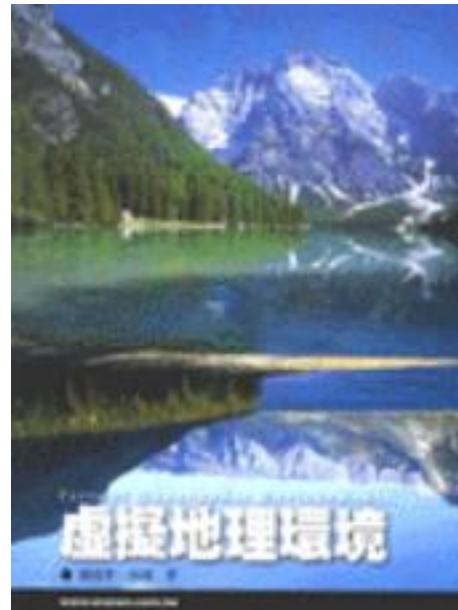
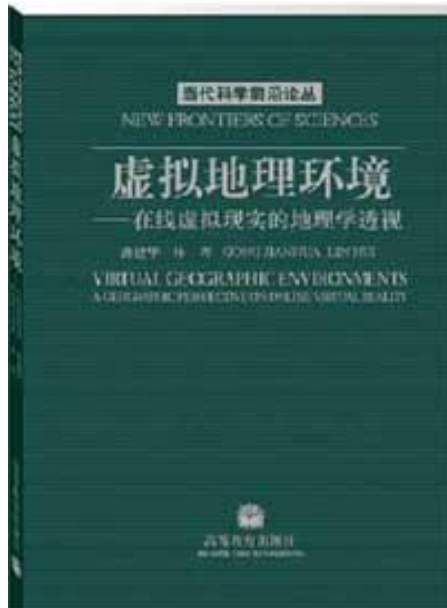


- ① **VR/AR/元宇宙发展背景**
- ② 空间认知的研究与工具思考
- ③ VR 中 空间/具身认知
- ④ AR 中 空间/具身认知
- ⑤ 结语与展望



近25年的虚拟地理环境发展

虚拟地理环境，从1997-1998年起至今，已发展24余年，在大数据、区块链、VR/AR/MR、人工智能的时代，需要新的观念、理论和方法探索和突破！





增强现实技术的新发展

大事件1：美国陆军微软HoloLens AR项目 “集成视觉增强系统”（IVAS）

2020年4月1日，微软获得为美国陆军制造AR头显的合同，这笔交易可能在10年内价值高达218.8亿美元（12万台AR头显）。



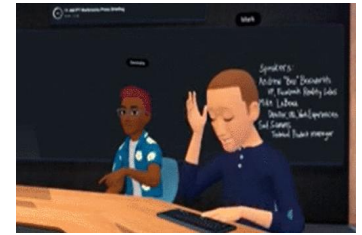


虚拟现实理念/技术的新发展

大事件2：元宇宙Metaverse概念与技术的发展

Roblox 2021年3月上市（元宇宙第一股），到2021年8月字节跳动90亿元收购Pico VR公司，腾讯公司的全真互联网等。**2021年元宇宙元年？**

Facebook：VR 头显 Quest 2.0，新型 VR 社交平台 Horizon Worlds。“我希望在未来五年左右的时间里...，正在从一家社交媒体公司，转变成一家元宇宙公司”(扎克伯格)



Horizon Workrooms





“But you can think about the **metaverse** as an **embodied internet**, where instead of just **viewing content** — you are **in it**” (Mark Zuckerberg,2021)



Roblox元宇宙的8个特点：

- ① 身份（化身）
- ② 朋友
- ③ 沉浸感
- ④ 低延迟
- ⑤ 多元化
- ⑥ 随地
- ⑦ 经济系统（区块链）
- ⑧ 文明（数字文明）



一个新的元宇宙（VR），一个虚实融合的新世界/地理世界(AR/MR)，

- ① 对于身心认知的影响？
- ② 对于社会、经济等的影响？
- ③ 对于GISci/GIS/VGE发展的影响？

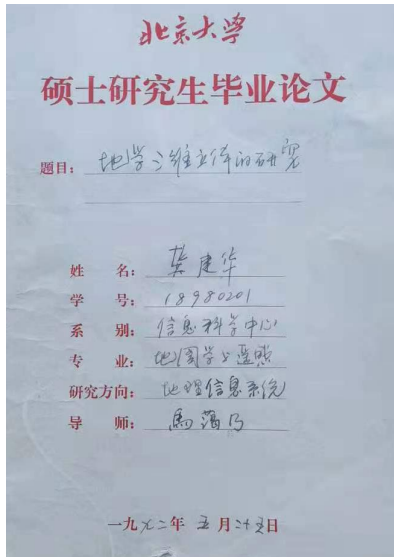
元宇宙：三维游戏、社交，VR/AR，区块链与数字加密货币等的快速发展，与2001年“虚拟地理环境”初期基本理念相似，但具有新的内在元素！



- ① VR/AR/元宇宙发展背景
- ② 空间认知的研究与工具思考
- ③ VR中 空间/具身认知研究
- ④ AR中 空间/具身认知研究
- ⑤ 结语与展望



地理空间认知，在地理信息科学中处于一个核心理论的位置，**很有吸引/诱惑力，但是比较难研究**，涉及到“人”的感知、注意、心象、学习、记忆、思维等机理，以及地理意象、视觉认知、心象地图、地理思维、地理图解/图谱、社会群体思维等。



中国科学院
国家计划委员会 地理研究所

博士后研究工作报告

题目：地学可视化
-理论、技术及其应用

博士后姓名：龚建华
合作导师：陈述彭院士

工作完成日期：1995年9月—1997年9月
报告提交日期：1997年11月

中国科学院
国家计划委员会 地理研究所

第 54 卷第 5 期
1999 年 9 月

地 理 学 报
ACTA GEOGRAPHICA SINICA

Vol. 54, No. 5
Sept., 1999

文章编号：0375-5444 (1999) 05-0401-09

论地理空间形象思维 —— 空间意象的发展

鲁学军¹，周成虎¹，龚建华²

(1. 中国科学院地理研究所，北京 100101; 2. 香港中文大学地理系，香港)

摘要：本文对于作为地理思维的载体——空间意象的定义及其意义进行了论述，对于不同类型空间意象的思维模式、含义和实质进行了初步探讨。通过对于空间意象发展的讨论，揭示了区域地理系统是现代地理学研究地球表层的范式，并提出应在基于地理分析不变基元——最小空间单元的基础上作为地理区域分析的基本单元。地理思维是地理学的基础，建立地理思维系

报告人从1990年开始做**三维可视化**，涉及到**视觉认知、地学图解**（陈述彭先生）、**地理图形思维**（马蔼乃教授）等，但是一直不敢下狠心做这个“**地理空间认知**”方向。



由解放军信息工程大学测绘学院和中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室联合主办的首届“地理信息科学中的空间认知问题”学术研讨会于2007年1月31日在郑州举行。

高俊院士（2007）作了主题报告，主要观点：

- ① 指出认知的主体是人（不是机器），认知的对象是大脑（不是地理实在）。地图是用来认识世界（客观世界）的，认知地图是用来认识大脑（主观世界）的。
- ② 地理学研究空间认知是探索人的地理概念形成的机制，怎样从具体的实在（Reality）转化为实在的概念。

地理空间认知专栏

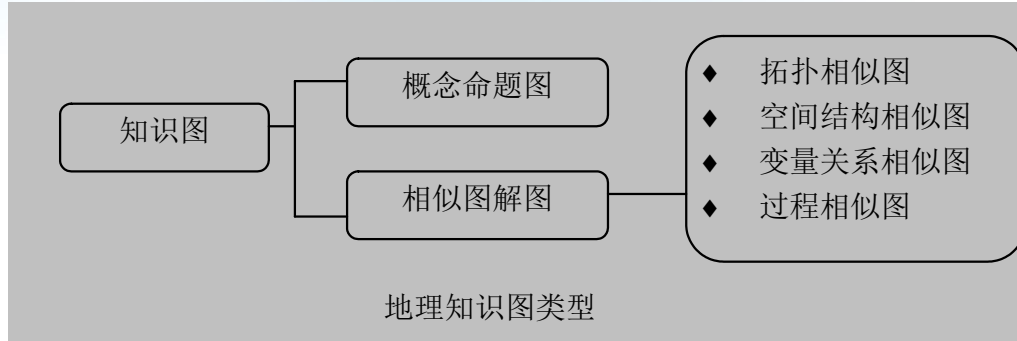
- 地理信息科学的空间认知研究(专栏引言)
高俊
2008, 12(2): 338 [摘要](2759) [下载 PDF(1.66 M)](82) [HTML](0)
- 基于阅读实验方法的认知地图形成研究
万刚, 高俊, 刘颖真
2008, 12(2): 339-346 [摘要](3023) [下载 PDF(8.26 M)](63) [HTML](0)
- 适宜空间认知结果表达的地图形式
艾廷华
2008, 12(2): 347-354 [摘要](2894) [下载 PDF(8.45 M)](67) [HTML](0)
- 地理知识可视化中知识图特征与应用——以小流域淤地坝系规划为例
龚建华, 李亚斌, 王道军, 黄明祥, 王伟星
2008, 12(2): 355-361 [摘要](2636) [下载 PDF(7.13 M)](71) [HTML](0)
- 线状物体空间关系的自然语言理解的双语比较
许珺, 张晶, 司望利, 孙红玖
2008, 12(2): 362-369 [摘要](3260) [下载 PDF(7.13 M)](51) [HTML](0)
- 基于认知的模糊地理要素建模——以中关村为例
刘瑜, 袁一泓, 张毅
2008, 12(2): 370-377 [摘要](2753) [下载 PDF(8.56 M)](61) [HTML](0)
- 旅游者地理空间认知模式研究
马耀峰, 李君轶
2008, 12(2): 378-384 [摘要](2994) [下载 PDF(7.18 M)](47) [HTML](0)

遥感学报空间认知专栏（2008）：高俊，龚建华，鲁学军，万刚，艾廷华，刘瑜，马耀峰，许珺，张晶等

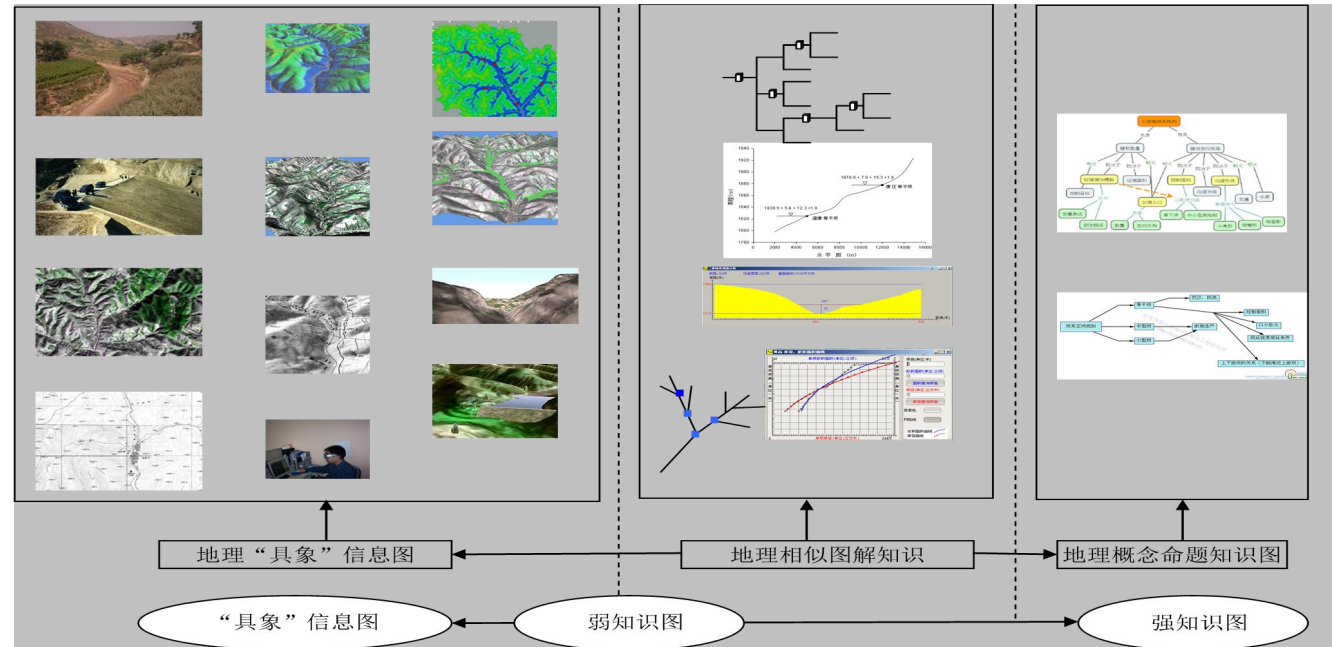
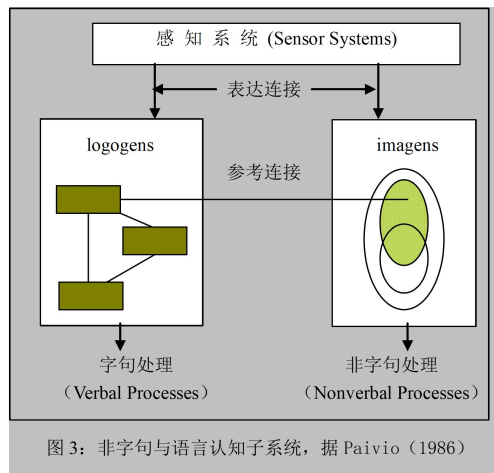


知识图特征分析（龚建华等，2008）

陈述彭先生地学图解的进一步探索



- 概念命题图，侧重于语言表达与处理；
- 相似图解图，侧重于非子句的图形图象表达与处理。



双重编码理论



2016年至今VR/AR技术与设备的发展，为地理空间认知/具身认知定量实验开展建立了工具基础！

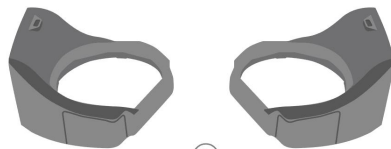
概念分析、心象地图、调查表、眼动仪、脑电波分析仪等方法、工具



VR/AR 眼动仪；VR/AR 声音、动作、空间定位等感知交互设备；



HTC Vive VR



眼球追踪模组



Quest2 VR一体机



HoloLens2.0 AR 脑电波分析仪



《地理空间认知》，万刚等译，2018（原英文版，2002）



VR 心理认知（2018）

测绘学报

Acta Geodaetica et Cartographica Sinica

2021年10月12日 星期二 首页 期刊介绍

当期目录

2021年 第50卷 第6期 刊出日期：2021-06-20

地理空间认知

空间认知推动地图学学科发展的新方向

高俊, 曹雪峰

2021, 50(6): 711-725. doi:10.11947/j.AGCS.2021.20210043

摘要 (419) HTML (66) PDF (2322KB) (548)

参考文献 | 相关文章 | 多维度评价

地图空间认知的数学基础

万刚, 武易天

第43卷第11期
2018年11月

武汉大学学报·信息科学版
Geomatics and Information Science of Wuhan University

Vol.43 No.11
Nov. 2018

DOI: 10.13203/j.whugis.20180373



文章编号: 1671-8860(2018)11-1603-08

三元空间下的泛地图可视化维度

郭仁忠^{1,2} 陈业滨^{1,2} 应申¹ 阎国年³ 李志林⁴

第74卷第3期
2019年3月

地理学报
ACTA GEOGRAPHICA SINICA

Vol.74, No.3
March, 2019

2008年以来地图学眼动与视觉认知研究新进展

董卫华, 廖华, 詹智成, 刘兵, 王圣凯, 杨天宇
(北京师范大学地理科学学部, 北京 100875)

测绘学报 2021年 第50卷 第6期 地理空间认知专栏

第50卷 第6期
2021年6月

测绘学报
Acta Geodaetica et Cartographica Sinica

引文格式: 郑束蕾. 地理空间认知理论与地图工具的发展[J]. 测绘学报, 2021, 50(6): 766-776. ZHENG Shulei. The theory, map tools and development directions of geograph Cartographica Sinica, 2021, 50(6): 766-776. DOI: 10.11947/j.AGCS.2021.2021004

地理空间认知理论与地图工具的发展

郑束蕾

信息工程大学地理空间信息学院, 河南 郑州 450001

ac.cn



空天院VGE团队近年（2016年-至今）的VR/AR 空间感知/认知相关论文：

- ① 申申, 龚建华, 李文航, 等. 基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, v.43(11):133-139. (VR感知认知)
- ② Shen S , Jianhua G , Jianming L , et al. A Heterogeneous Distributed Virtual Geographic Environment—Potential Application in Spatiotemporal Behavior Experiments[J]. International Journal of Geo-Information, 2018, 7(2):54. (VR协同认知)
- ③ 马晓辉, 周洁萍, 龚建华, 等. 面向室内应急疏散标识的VR眼动感知实验与布局评估[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8) (VR感知认知)
- ④ 马明明、龚建华、李文航、黄琳、马晓辉、李亚斌. 基于虚拟眼动实验的指向型应急疏散标识布局优化方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, v.45(09):71-79. (VR感知认知)
- ⑤ Huang L, Gong J, Li W. A Perception Model for Optimizing and Evaluating Evacuation Guidance Systems[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(2): 54. (VR感知认知)
- ⑥ Guoyong Zhang, Jianhua Gong, Yi Li, et al. An efficient flood dynamic visualization approach based on 3D printing and augmented reality, International Journal of Digital Earth, 2020-01-06, doi: 10.1080/17538947.2019.1711210 (AR感知认知)



- ① VR/AR/元宇宙发展背景
- ② 空间认知的研究与工具思考
- ③ VR 中空间/具身认知研究
- ④ AR 中 空间/具身认知研究
- ⑤ 结语与展望



VR空间认知研究工作与成果1

DOI:10.13203/j.whugis20170083



文章编号:1671-8860(2018)11-1732-07

基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究

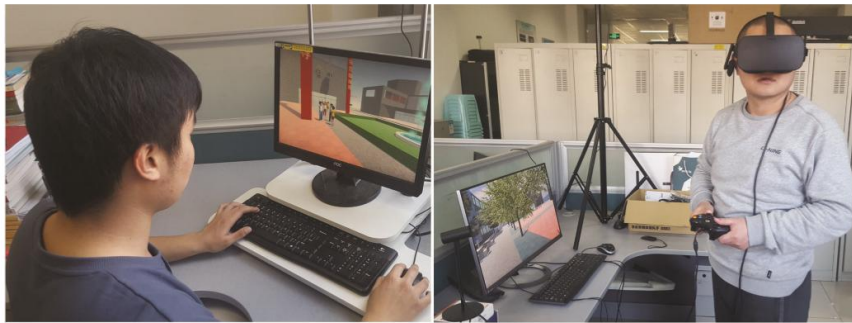
申 申^{1,2} 龚建华^{1,3} 李文航¹ 梁剑鸣^{3,4}

1 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京,100012

2 中国科学院大学,北京,100049

3 浙江中科空间信息技术应用研发中心,浙江 嘉兴,314199

4 亚利桑那州立大学生命科学学院,美国 坦佩, 85287



(a) 基于屏幕空间

(b) 头盔式VRGIS

图1 头盔式VRGIS与基于屏幕空间的地理虚拟环境

表1 认知草图评分标准

Tab.1 Cognitive Map Grading Standard

评分项	评分标准	建筑得分	道路得分	总分
空间对象	是否存在	8	3	11
	名称是否正确	7(*)	3	10
空间格局	空间对象相对位置是否正确	8	3	11
	空间对象形状是否正确	8	0(*)	8

注: * 表示石桌凳不要求写出名称,道路不要求形状

VR组的潜在优势体现(2018):

1) 在空间认知3个层次(空间特征感知、空间对象认知、空间格局认知)的认知效果比屏幕组均有了显著的提升;

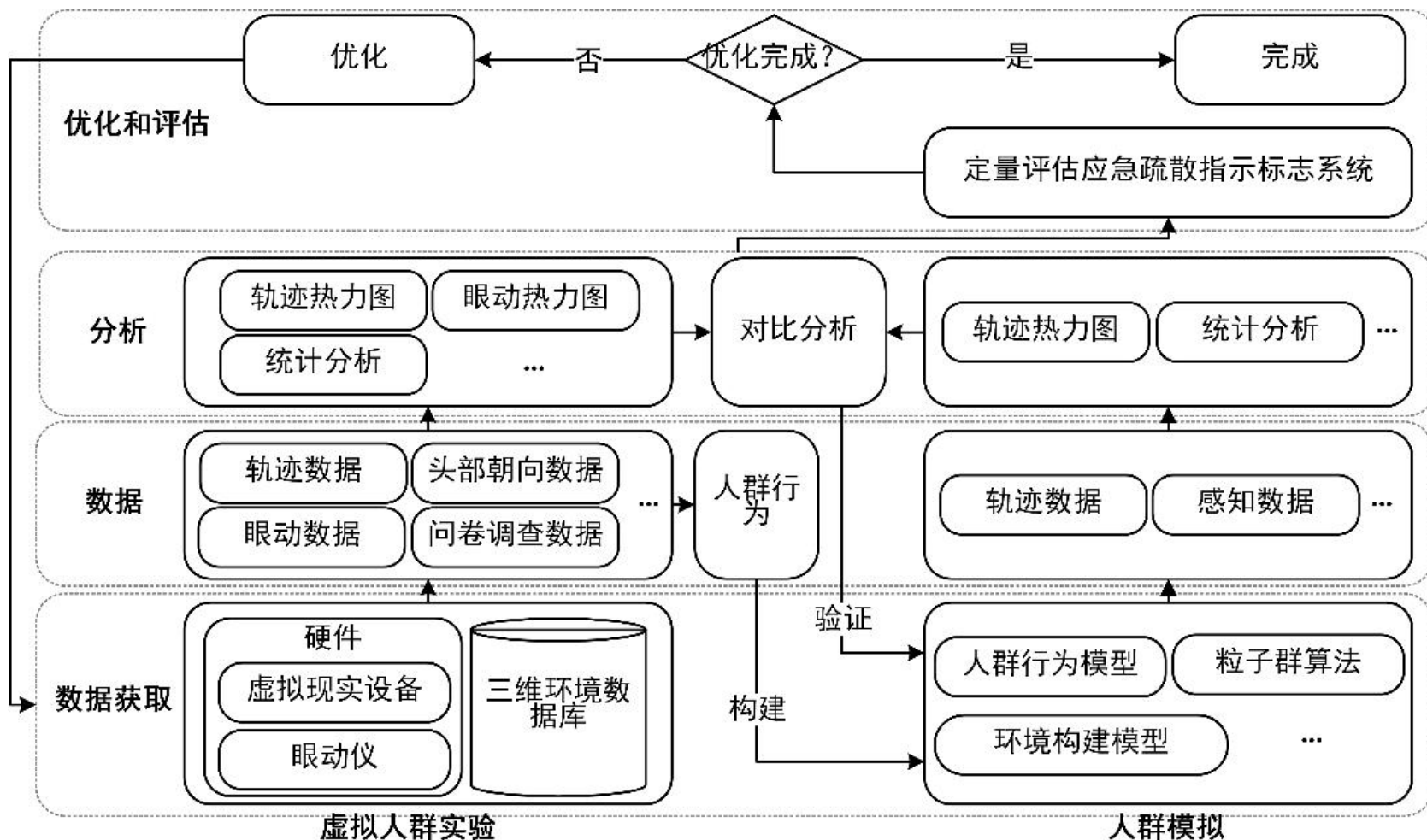
2) 在遗忘分数方面,与屏幕组并没有显著差别;

3) 观察方向的水平变化量显著大于屏幕组。



VR空间认知研究 工作与成果2

基于疏散标志VR感知的人群 疏散行为建模





HTC



aGlass



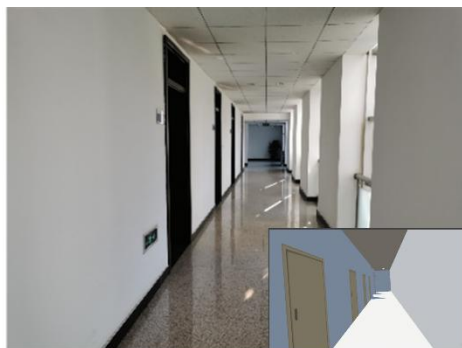
实验说明



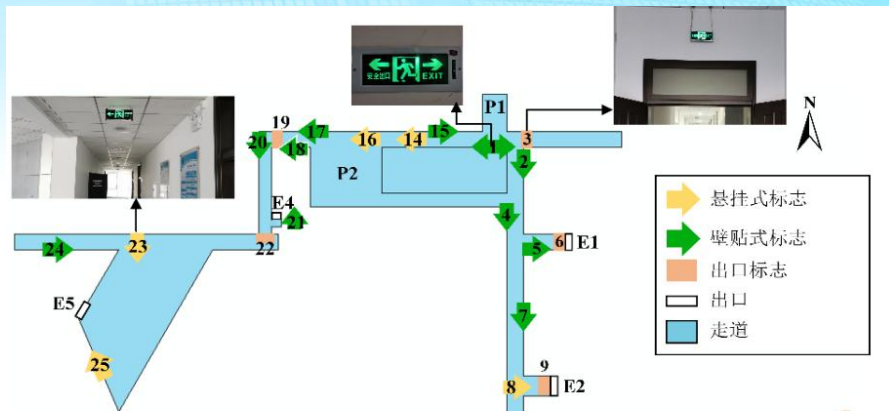
独立实验



隔断区域



走廊区域



场景说明

- ① 出口数量: 5个;
- ② 疏散标志: 25个;
- ③ 疏散标志种类: 壁贴式 (14)、悬挂式 (5)、安全出口标志 (6);
- ④ 标志规格: 长0.25米, 宽0.135米, 悬挂式标志和安全出口标志距地面约3米;

实验说明

实验一: 原标志系统, 89位实验者, 共115份有效数据;
 实验二: 优化后标志系统, 78位实验者, 共82份有效数据;

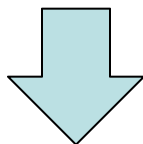
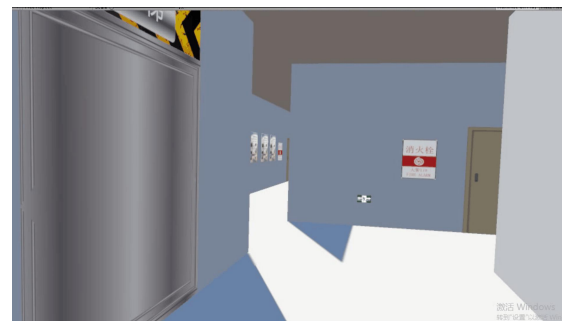


实验流程

- 实验说明
- 实验设备：头显穿戴、手柄按键
 - 校准方式：注视点校准
 - 实验任务：尽快逃生（**不告知实验目的**）



- 实验过程
- 分组实验：初始位置
 - 问卷调查：填写调查表



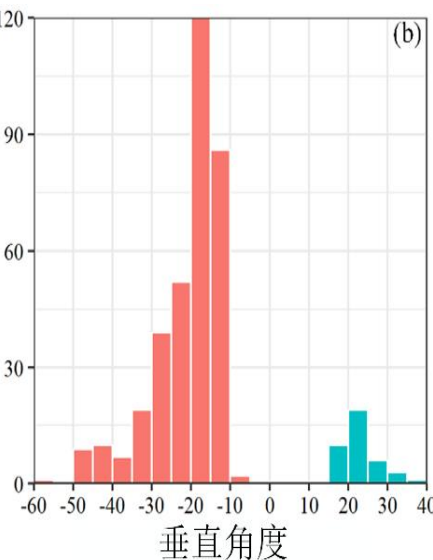
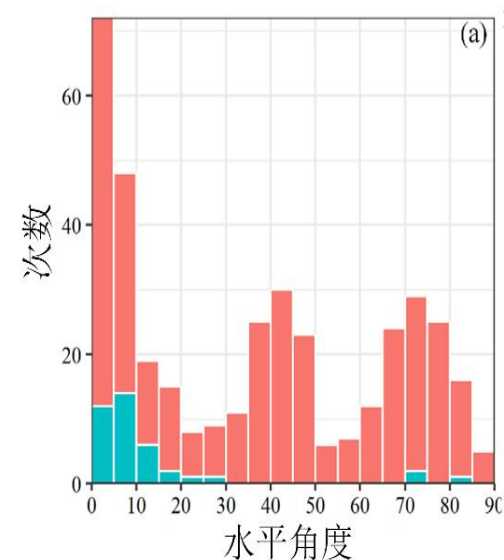
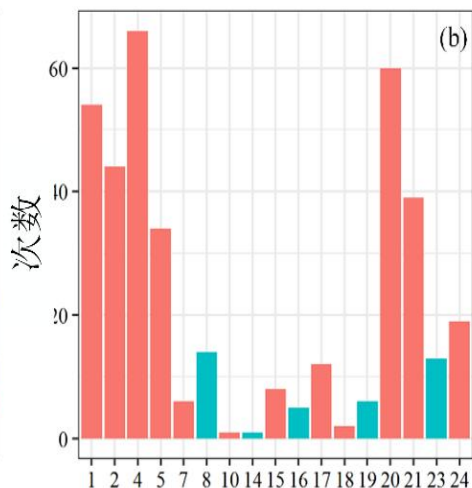
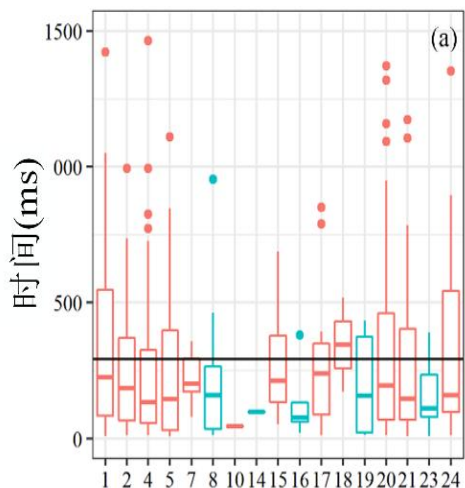
实验数据

逃生轨迹

头部方向

眼动注视

...



感知时间

平均感知时间 $291ms$,大多数标志的感知时间不超过 $500ms$;

感知角度

水平角度: $0-85^\circ$

悬挂式垂直角度: $15-35^\circ$

壁贴式垂直角度:

$-50^\circ-10^\circ$

感知偏好

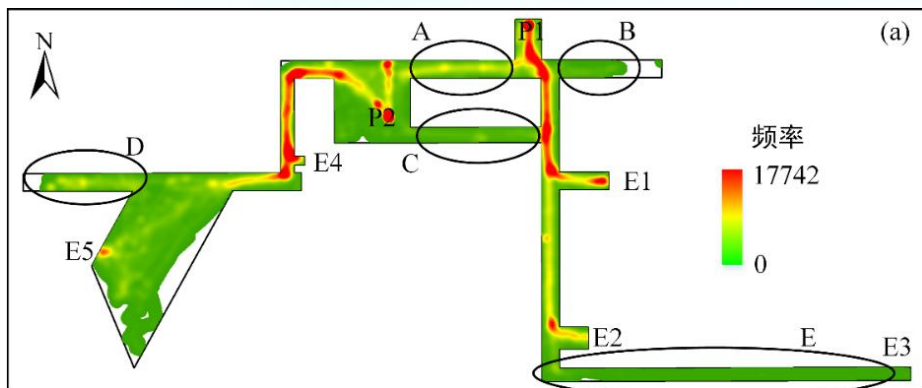
壁贴式标志感知率更高;

感知需求

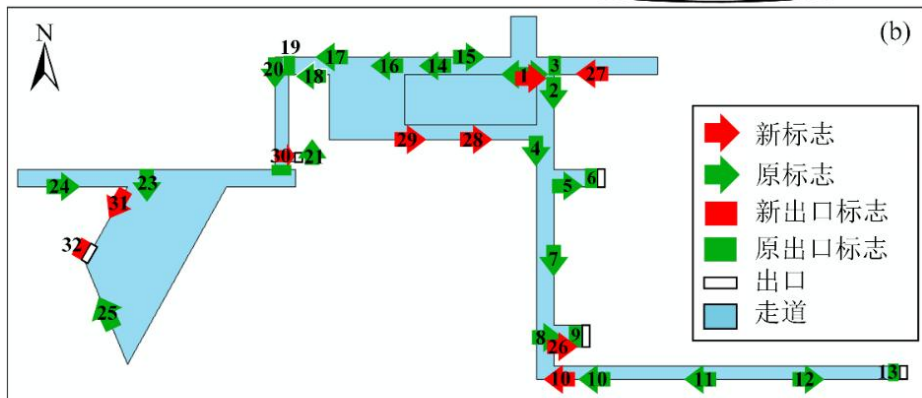
人群在路口感知标志的需求更高;



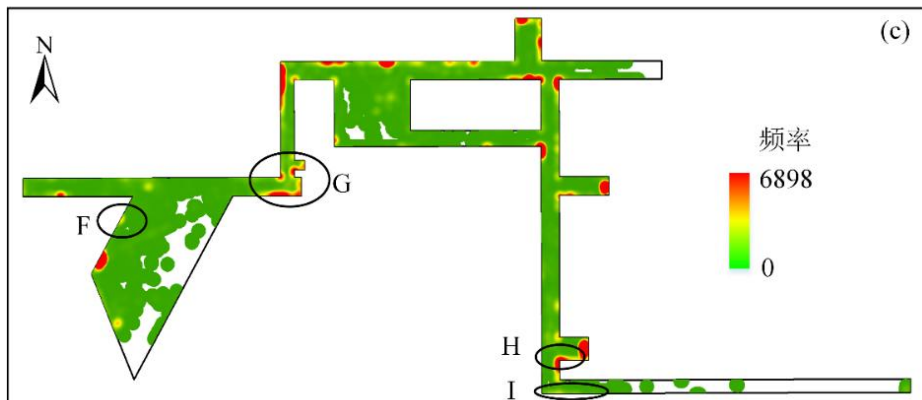
原标志布局与优化标志布局



□ 形成了两条热度值较高的逃生路径;



□ 轨迹热力图中A、B、C、D、E为不合理区域;



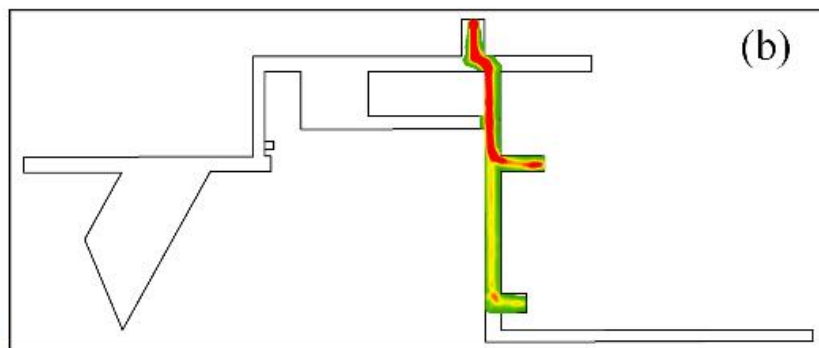
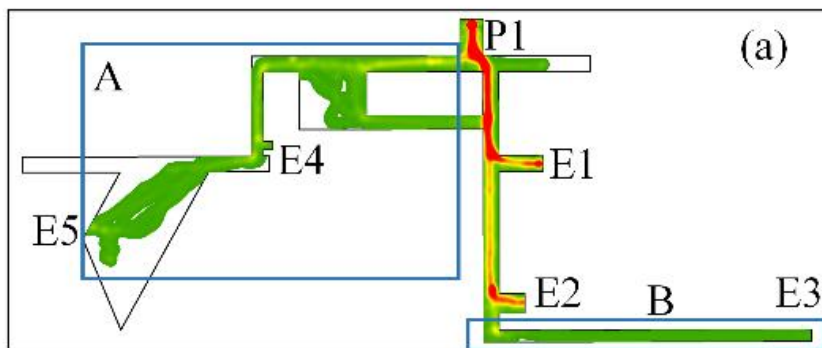
□ 眼动热力图中F、G、H、I为不合理区域;

□ 对研究区的应急疏散标志系统进行优化;

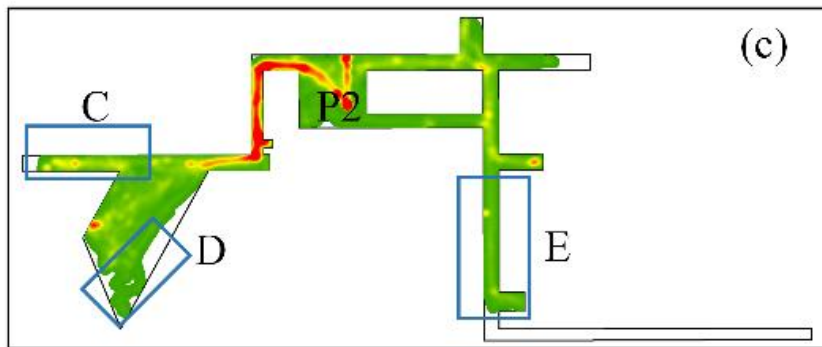
原标志系统

优化后标志系统

初始位置1



初始位置2



VR试验情况下，在没有周围行人干扰的情况下标志的感知度大约为**79%**



基于标识的室内火灾疏散VR感知/认知实验



虚拟疏散认知实验

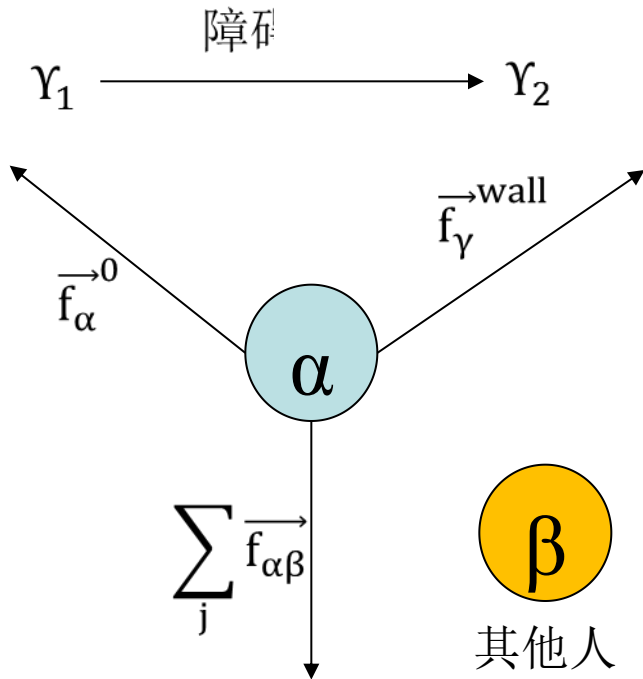


VR空间认知研究工作与成果3

基于疏散标志和VR具身感知的改进社会力模型

社会力模型

$$\frac{d\vec{v}_\alpha}{dt} = \vec{f}_\alpha^0 + \vec{f}_\gamma^{\text{wall}} + \sum_j \vec{f}_{\alpha\beta}$$



优点:

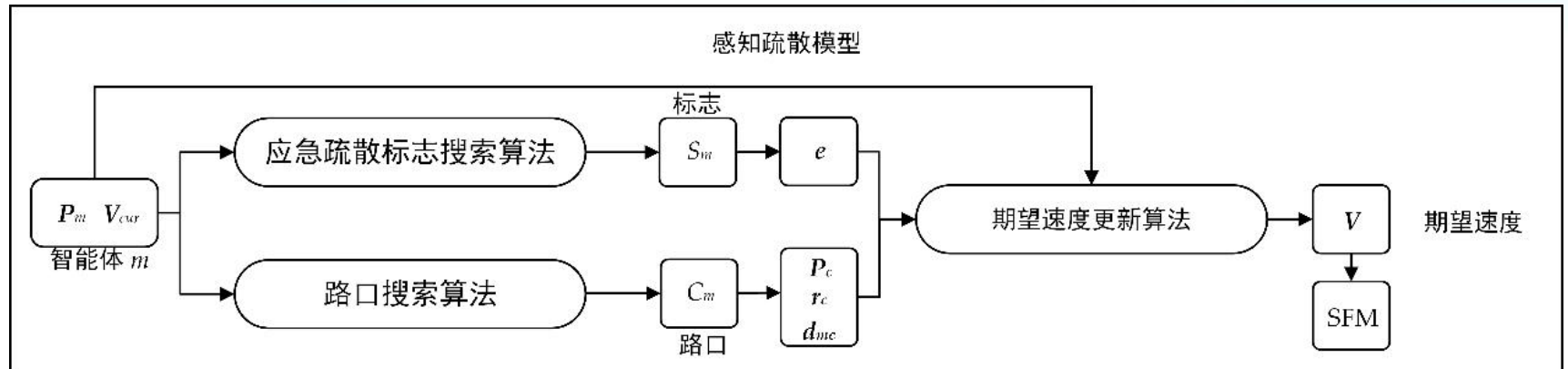
- 1、人群模拟领域的经典模型，可模拟拥挤拱形等真实逃生现象；
- 2、考虑恐慌情绪，注重心理、行为特征方面的构建；

缺点:

- 1、面向个体，不考虑个体之间的关系；
- 2、个体没有感知能力，除了与墙面的碰撞，没有与环境的交互；
- 3、行人总是朝向目标出口，无法在多个出口或不知道出口位置的场景中模拟；



基于具身标识感知的改进社会力建模



针对社会力模拟人无法感知环境和调整期望速度的问题，我们提出两个模型

标志模型 设指向第 i 个路口的第 j 个标识为 S_{ij} ，标识所处的位置用二维坐标 $\mathbf{P}_{S_{ij}}$ 表示，标识正面的朝向用法向量 $\mathbf{N}_{S_{ij}}$ 表示，标识的高度为 $h_{S_{ij}}$ ，标识指示的路口方向用二维向量 $\mathbf{D}_{S_{ij}}$ 表示。

路口模型 假设第 i 个路口为 C_i ，路口中心用一个二维坐标 \mathbf{P}_{C_i} 表示，路口方向数量用 n_{C_i} 表示，其中第 k 个路口的行进方向用二维向量 $\mathbf{D}_{C_i}^k$ 表示，将路口简化为一个圆形区域，设这个区域的半径为 r_{C_i}



感知模型-标志搜索算法

设智能体 m 到标志 j 向量为 $\mathbf{d}_{mj} = \mathbf{P}_m - \mathbf{P}_{s_{ij}}$ ， \mathbf{d}_{mj} 需同时满足以下几个条件：

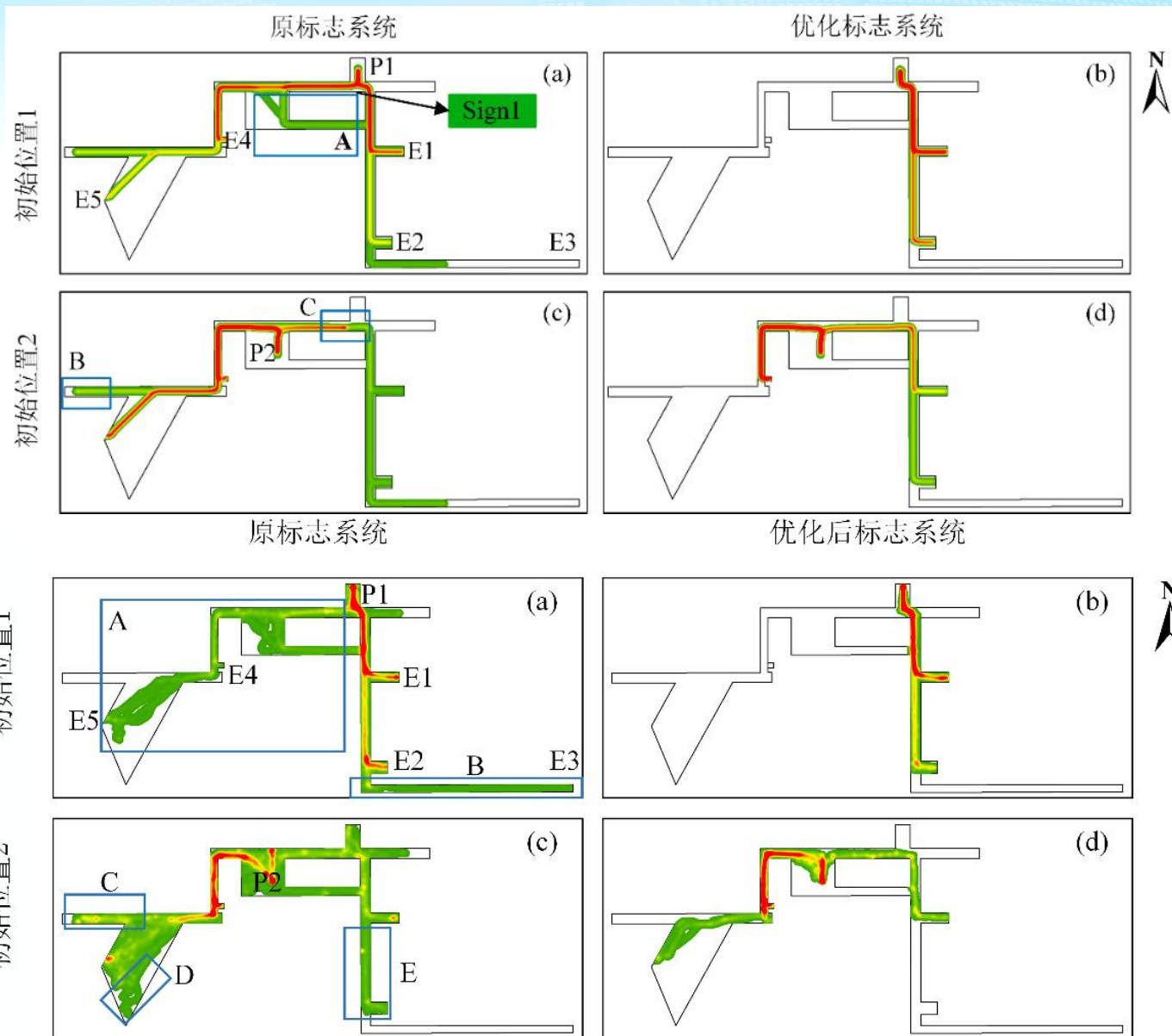
- 1 标识没有被墙壁等障碍物遮挡，即 \mathbf{d}_{mj} 不穿过墙壁 \mathbf{W}_n 。
- 2 标识法向与到标识智能体的夹角属于某个范围，设 \mathbf{d}_{mj} 与 $\mathbf{N}_{s_{ij}}$ 的夹角 $\theta_{mj} = \arccos(\mathbf{d}_{mj} \cdot \mathbf{N}_{s_{ij}} / \|\mathbf{d}_{mj}\|)$ ，则需满足 $\theta_{mj} \in (A_{vision}^{\min}, A_{vision}^{\max})$
- 3 人的朝向与标识的水平夹角属于某个范围，即 \mathbf{d}_{mj} 与人的当前朝向 \mathbf{e}_m^{cur} 的夹角 $\alpha_{mj} = \arccos(\mathbf{d}_{mj} \cdot \mathbf{e}_m^{cur} / \|\mathbf{d}_{mj}\|)$ ，满足 $\alpha_{mj} \in (A_{hori}^{\min}, A_{hori}^{\max})$ 。
- 4 人的朝向与标识的垂直夹角属于某个范围， $\beta_{mj} = \arctan((h_{s_{ij}} - h_m) / \|\mathbf{d}_{mj}\|)$
 $\beta_{mj} \in (A_{vert}^{\min}, A_{vert}^{\max})$ 。

$$S_m = \min_k (\|\mathbf{d}_{mk}\|)$$



数理社会力 模拟结果

VR实验结果



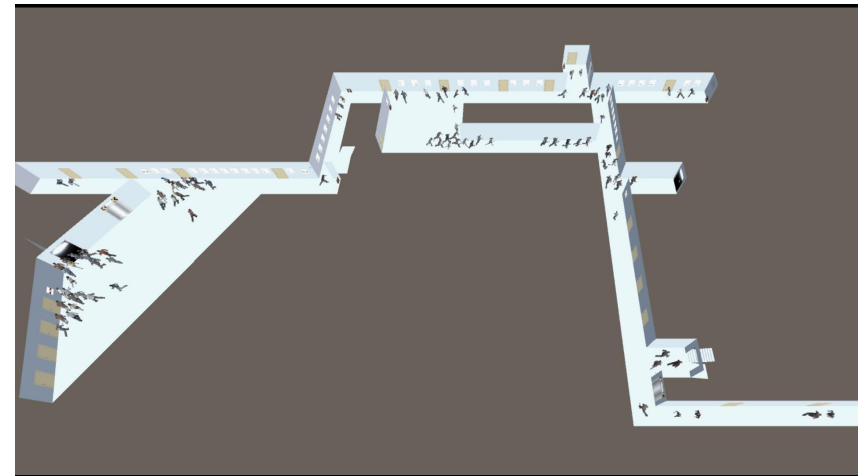


基于具身标识感知的改进社会力建模模拟

第三视角



上帝视角

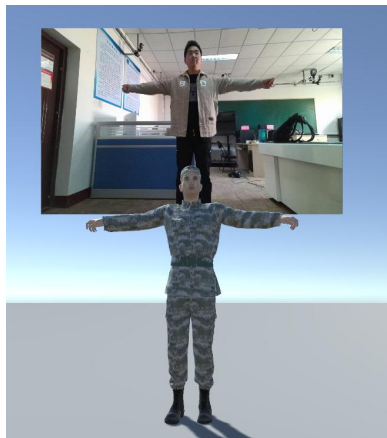
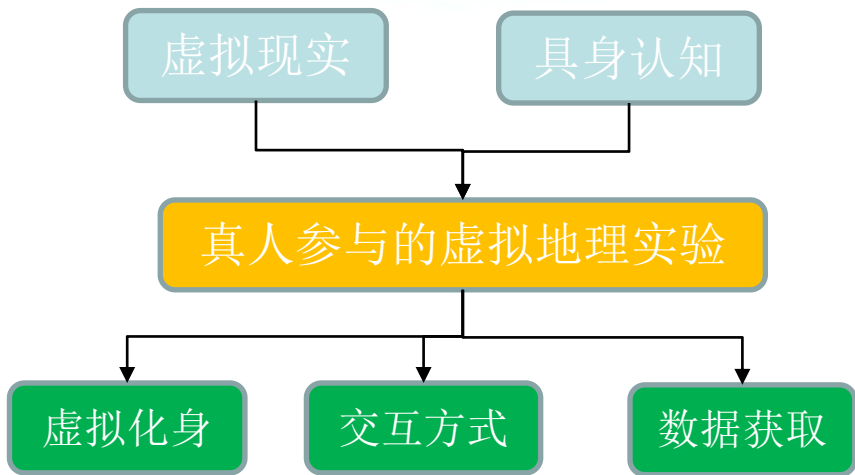


在原标志系统下100人的疏散时间为54s，在优化标志系统下100人的疏散时间为34s，疏散时间减少了**37%**



VR具身认知研究工作与成果3

VR + 具身表达 + 自然人机交互



虚拟化身+真实动作



手势交互

虚拟现实+具身认知在虚拟化身可视化、交互方式、数据获取方式等方面对真人参与的虚拟地理实验产生了重大影响：

- 1) 虚拟化身具象化+虚实动作协同
- 2) 动作、手势等自然人机交互方式



虚实动作协同



具身化身行为智能AI建模与社会交互交往活动

A I 具身建模

行为

旋转

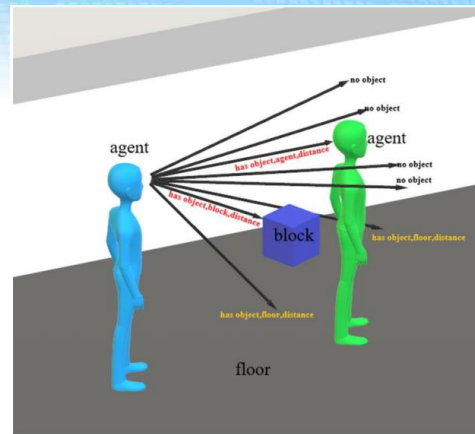
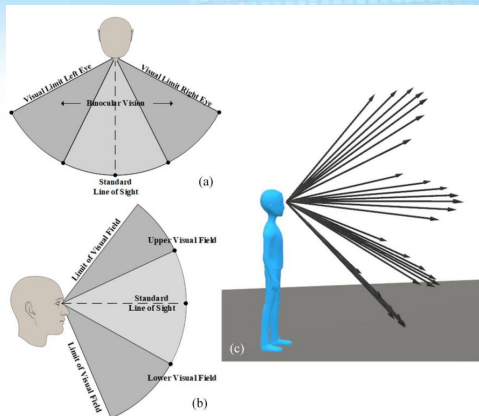
移动

微观行为

感知

图像

射线





- ① VR/AR/元宇宙发展背景
- ② 空间认知的研究与工具思考
- ③ VR 中 空间/具身认知研究
- ④ AR 中 空间/具身认知研究
- ⑤ 结语与展望



4.1 增强地理环境的空间认知特征与模式

利用Hololens、脑电波仪开展了3个试

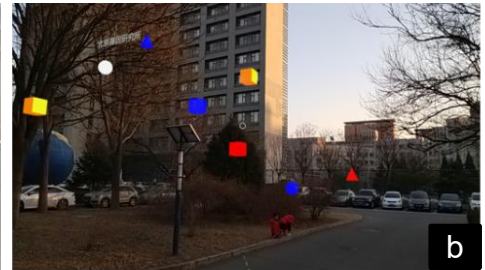
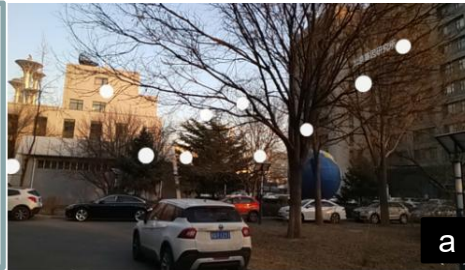
验，实验人员140人次：

- ① 制图变量引导性评估实验
- ② 制图变量认知负荷评估实验
- ③ 模型空间认知特征研究实验

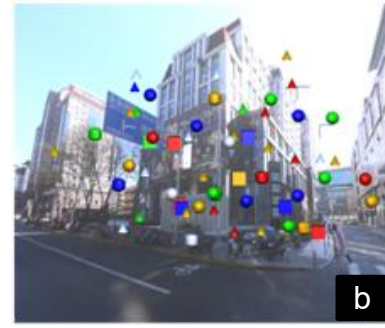
获得了3个AR空间认知特征：

- ① AR制图场景视觉变量引导性特征
- ② 制图场景最优符号负载量
- ③ 模型空间融合制图的AR空间认知优势

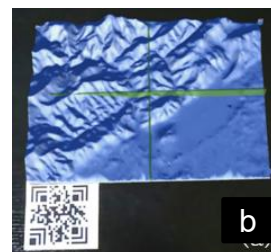
引导性实验



认知负荷实验



认知实验



AR+物理沙盘

AR+虚拟沙盘

二维纸质图



认知成果 1:明确了AR融合制图中视觉变量的引导性特征

变量类型		优势	劣势	适用场景
静态	颜色-反射	真实感强	易受环境干扰	具象模型
	颜色-发光	引导性强, 颜色表达稳定	受环境及光照条件影响	抽象符号, 光照强度低、背景简单场景
	形状	引导性强, 受环境影响小, 效果稳定	需要配合颜色等其他变量, 共同实现表达效果	抽象符号, 背景复杂场景
	尺寸-角度	使尺寸变量在融合制图环境中仍然可用	引导性不及形状和反光材质颜色, 准确度略低	基础变量 抽象符号
	尺寸-长度	无	无法判断尺寸大小	不推荐使用
增强	运动	视觉引导性强	认知负荷高	突出显示有限目标
	闪烁	视觉引导性强	认知负荷较高, 引导性不及运动变量	不适宜采用运动变量的场景

形状 \geq 发光材质颜色 $>$ 角度尺寸 \geq 反射材质颜色 $>>$ 长度尺寸

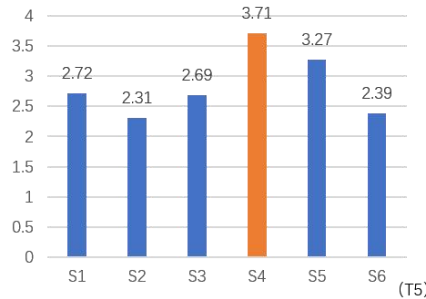
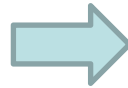
区别于二维地图中: 颜色 $>$ 形状 $>$ 尺寸(长度)的引导性顺序



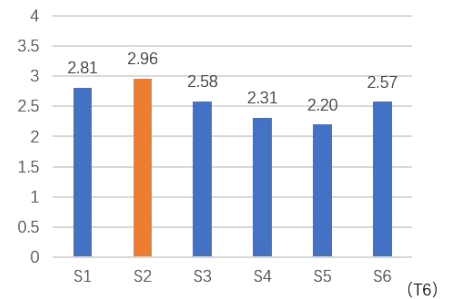
认知成果2：获取了不同制图变量的认知负荷过载阈值，明确了场景最优符号密度

- (1)不同视觉变量在认知过载前的心理资源（注意力）占用量为：**运动（3.71）> 闪烁（3.07）> 真实环境目标识别（2.96）> 颜色（2.91）> 尺寸（2.68）> 形状（2.53）**；
- (2)在寻找6个符号的目标识别任务中，目标符号是颜色、形状、闪烁、运动时场景中最大符号负载量为**40个**（即6个目标符号+34个随机干扰符号）；
- (3)当关注目标时真实场景对象时（虚拟符号作为干扰项），虚拟地图场景中最大符号负载量为**20个**。

认知负荷指数计算 $CLI = \frac{P_{Fz}^{\theta}}{P_{Pz}^{\alpha}}$



运动

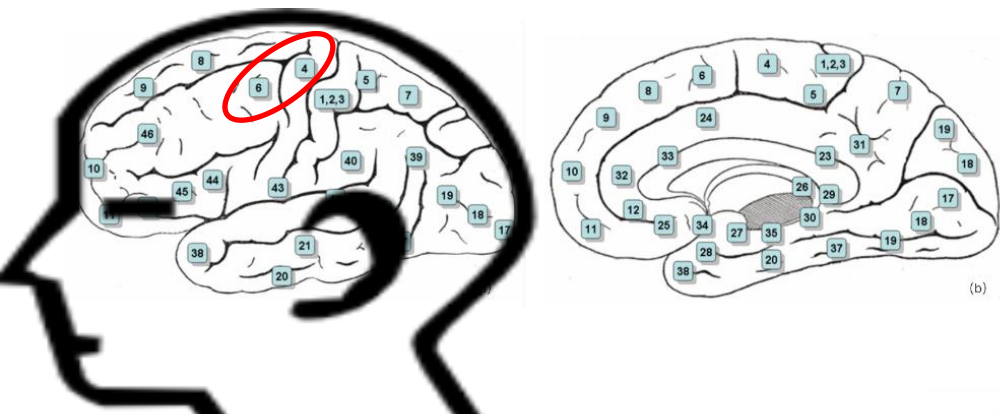


真实环境目标识别

Fz位置（前额）的脑电 θ 波强度与Pz位置（后脑勺，也就是枕叶）的脑电 α 波段强度的比值。



认知成果 3: 明确了模型空间虚实融合地图的空间认知特征



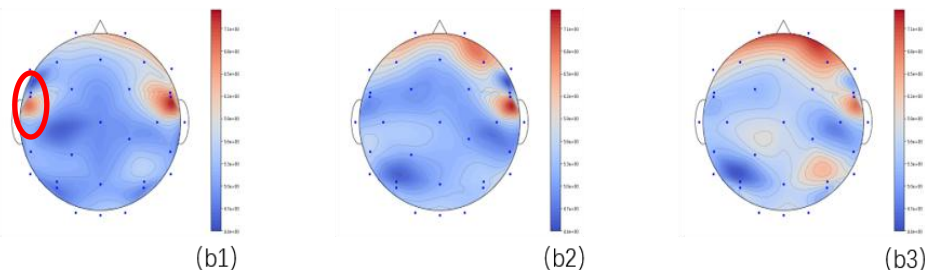
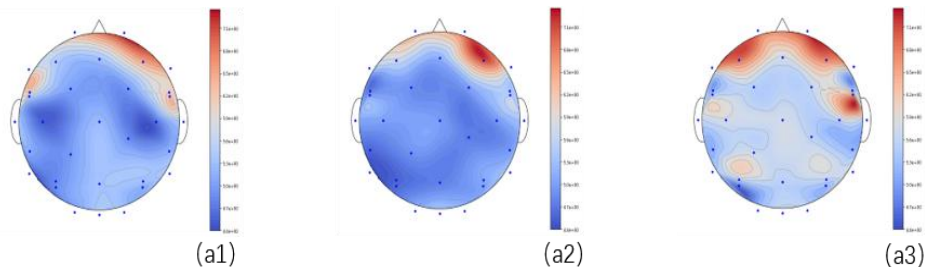
认知与行为	Brodman区域	主要功能
视觉感受	A17\18\19	视觉信息处理
空间感知	A5, A7	空间定位、定向相关
运动	A4	运动规划或执行
	A6	运动规划

优势一:

三维实体沙盘脑活跃区域无论范围还是强度上更低, 说明**认知负荷更低**, 从而使用户有更多可支配心理资源去处理其他空间任务;

优势二:

在A4、A6反应运动规划的脑活动区域, 三维实体模型更加活跃, 说明该模型空间可提供更强的**“在场感”**, 因此可以提供更好的空间参考以及更直观的可视化环境。



三维
实体

虚拟
三维

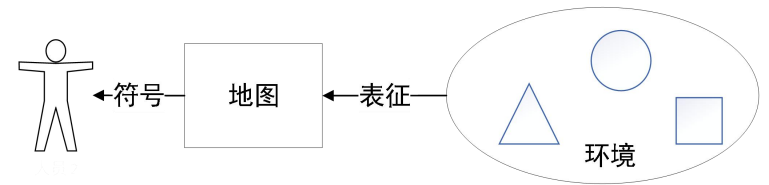
二维
地图



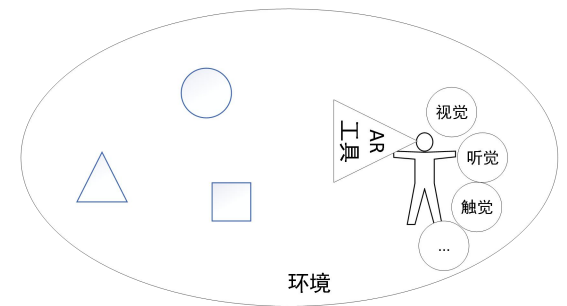
4.2 增强地理环境的具身认知

具身认知视角下的AR地图

具身认知不把认知看作是一种抽象符号的加工和操作，而是人适应环境的活动，通过身体与工具（比如AR眼镜）的配合，会起到扩展或放大认知的效果。



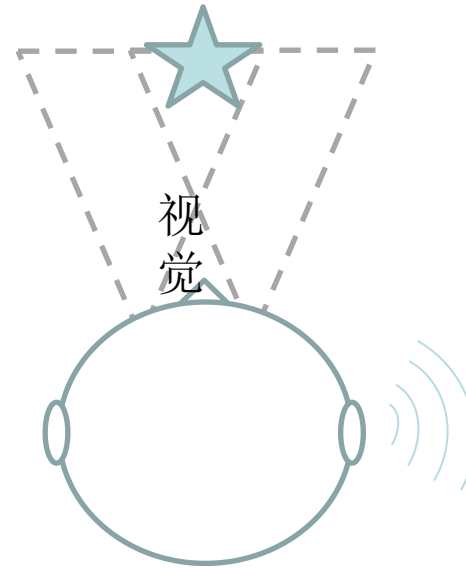
传统地图信息表达



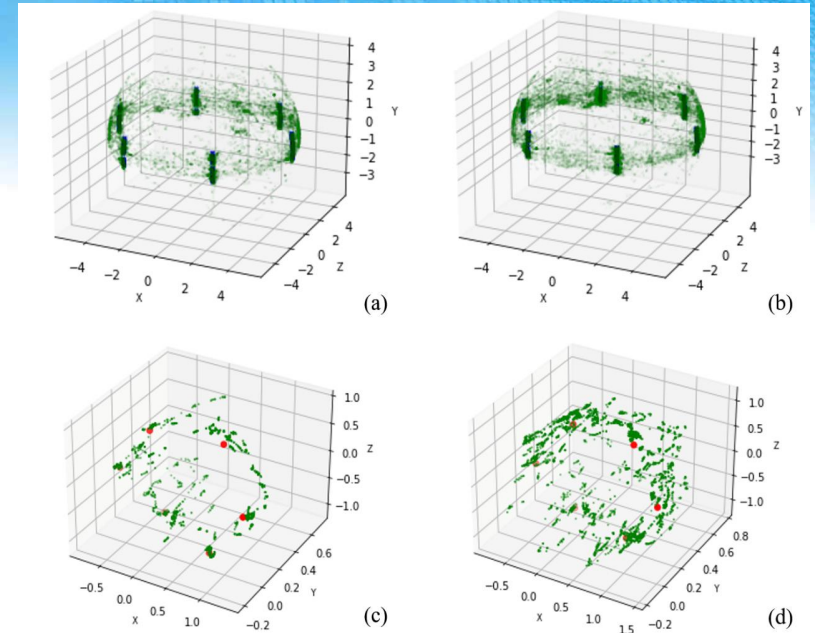
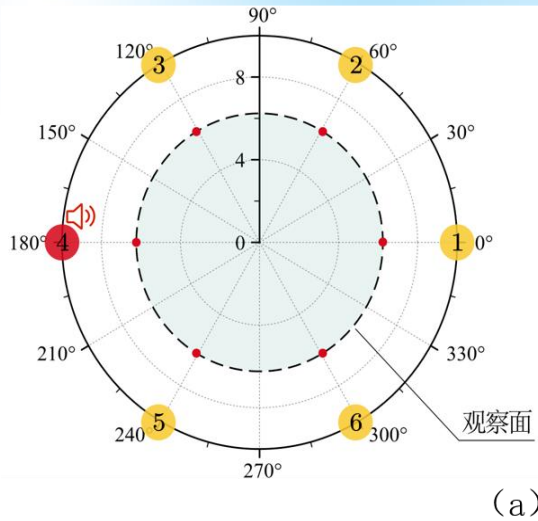
AR地图信息表达
(具身视角)



AR具身认知环境中信息表达



AR地图的使用环境是真实自然环境，因此信息表达可综合利用人的视觉、听觉、触觉感知通道，提高信息传递效率。目前AR设备具备环境立体声表达能力，利用声音表达方向线索，可有效提高AR用户对视野外对象的定位、感知能力。



开展用户实验，利用声音作为待寻找目标对象（视野外）的位置线索，结果显示与无声音线索相比：

- ①在空间声音引导下可有效压缩视觉搜索范围；
- ②目标检索效率大约有**34.5%**的提升。



- ① VR/AR/元宇宙发展背景
- ② 空间认知的研究与工具思考
- ③ VR 中 空间/具身认知研究
- ④ AR 中 空间/具身认知研究
- ⑤ **结语与展望**



报告内容小结：

- 1) 2个VR/AR 大事件：美军AR设备列装；元宇宙兴起（娱乐社交领域，数字经济）；
- 2) VR/AR空间认知的定量实验设备：VR/AR 眼动仪、交互设备，脑电仪等。
- 3) 空天院VGE 团队在空间认知与具身认知方面的一些工作与成果（VR人群疏散案例，AR制图等）



讨论与展望：

- 1) 在数字孪生城市、元宇宙等发展的虚实融合时代，VR/AR/MR 技术支持下的地理空间认知与具身认知等研究刚刚开始，需要创新探索和不断突破推进；
- 2) 虚实融合背景下的地理空间认知、具身认知以及地理信息认知研究与发展，希望重新回归为**理论核心地位**，指导和引领整个地理信息科学学科的发展。

谢谢!



gongjh@aircas.ac.cn

中国科学院空天信息创新研究院

www.aircas.ac.cn

