

基于Python的适老视觉引导策略研究

罗新果

天津大学, 中国·天津 300100

摘要: 针对老年人视觉识别能力下降导致无障碍空间寻路效率偏低的问题, 提出一种基于 Python 的视觉引导策略优化方法。利用 OpenCV、NumPy 与 NetworkX 提取标识对比度、位置及路径节点特征, 在 CARLA 中复现典型无障碍场景, 并在 AnyLogic 中建立老年代理体寻路模型。通过比较不同对比度、安装高度、节点间距和重复提示策略的仿真结果, 得到较优视觉引导组合。结果表明, 优化方案可使平均寻路时间缩短 25% 以上, 错误转向和停顿次数明显下降, 可达性评分提升约 30%, 适用于学校、社区和医院等空间的适老化改造前期评估。

关键词: 老年人; 无障碍环境; 视觉引导; 计算机视觉; Python; CARLA; AnyLogic

Research on Age-Friendly Visual Guidance Strategies Based on Python

Luo Xinguo

Tianjin University, China Tianjin 300100

Abstract: A Python-based optimization method for elderly-friendly visual guidance is proposed for accessible spaces with low wayfinding efficiency. OpenCV, NumPy and NetworkX are used to extract sign contrast, size, position and path-node features. A hall-corridor-elevator scenario is built in CARLA, and an elderly agent model is established in AnyLogic to simulate different guidance settings. Simulation results show that the optimized strategy reduces average wayfinding time by 26.2% and improves the accessibility score by 30.4%.

Keywords: Older adults; Accessible environment; Visual guidance; Computer vision; Python; CARLA; AnyLogic

0 引言

在人口老龄化持续加深的背景下, 老年人对医院门诊、社区服务中心、校园公共楼宇等无障碍空间的依赖不断增加。与青年群体相比, 老年人的视敏度、对比敏感度和注意转换能力普遍下降, 面对信息密集、转折较多或光照反差明显的环境时, 更容易出现看见标识却不能快速判断方向、走到节点后仍需二次确认、接近终点又发生回头的情况。现有适老化研究多集中于标识尺寸、色彩偏好和空间布置经验总结, 能够真正落到代码验证和仿真比较的工作仍然偏少^[1-4]。

考虑到部分高校已经具备仿真实验室条件, 本文选择一条更贴近日常科研实施的技术路线: 以前端视觉识别和参数提取为起点, 以 Python 完成标识检测、路径图构建和指标计算, 在 CARLA 中复现门诊—通道—候梯区等典型场景, 在 AnyLogic 中建立老年代理体寻路模型, 再通过多轮方案对比得到较优的视觉引导组合。该流程不依赖大规模真实受试实验, 便于在实验室中反复调整参数, 也有利于后期继续接入代码、图像和现场采集数据^[5-6]。

在研究目标上, 本文并不把视觉引导简单理解为把字

做大、把箭头做粗, 而是把它看成一个贯穿入口、转角、分叉口和终点前确认的连续信息系统。只有标识对比度、安装位置、节点间距和重复提示频率共同作用, 老年人才能在关键决策点稳定获得方向信息。因此, 本文围绕“标识是否清楚、路径是否连续、节点是否可确认、结果是否可预测”四个问题展开建模与分析^[7-8]。

1 需求与指标

结合前期文献梳理和典型场景观察, 适老视觉引导需求可概括为四个方面: 其一, 标识本体要有足够对比度与可读性, 保证在常见室内照度和一定观察距离下仍能快速辨识; 其二, 引导信息要在路径关键节点连续出现, 避免入口有提示而转角处中断; 其三, 标识安装高度应落在老年人较易观察的范围内, 既避免过高导致仰视困难, 也避免过低被人群或临时设施遮挡; 其四, 终点前应设置确认性提示, 降低临近目的地时的犹豫和回头。

为便于后续脚本计算, 本文选取三个基础指标。第一是标识对比度比值 C , 用前景与背景亮度的相对差异表示; 第二是引导连续性 G , 用路径上可见引导节点数与总关键节点数之比表示; 第三是综合可达性评分 A , 用于统

筹平均寻路时间、错误转向次数、停顿次数以及绕障附加距离的影响。评分越高,说明该引导方案越有利于老年人稳定完成寻路任务。考虑到不同指标量纲不同,计算时先对各项指标做归一化处理,再按权重合成为总评分。

表1 视觉引导策略变量及取值范围

变量	基础方案	优化方案	说明
对比度	3.0	4.5左右	前景/背景亮度比
安装高度/m	1.8	1.6	地面至标识中心
节点间距/m	16	12	关键节点之间距离
重复提示	入口一次	入口+转角+终点前	连续确认

为节省版面并保持公式含义,计算时分别以C表示标识对比度比值,以G表示关键节点中可见引导节点占比,以A表示综合可达性评分。A值通过平均寻路时间、错误转向次数、停顿次数和绕障附加距离归一化后按权重加总得到。

2 Python 原型与联合仿真

在原型实现上,研究将Python作为统一调度环境。首先利用OpenCV完成图像灰度化、边缘增强和阈值分割,识别蓝底白字、白底深字及箭头类标识的候选区域;随后通过NumPy计算前景与背景亮度差异、目标框尺寸和相对位置;再借助NetworkX把入口、服务台、通道转角、候梯区和电梯厅抽象为路径图节点,并记录节点间距离、遮挡情况和可视范围。整个过程既可处理静态场景图像,也可批量读取实验室拍摄照片或仿真截图。

联合仿真部分采用“CARLA负责场景,AnyLogic负责行为”的分工方式。CARLA用于搭建门厅、走廊、转角、提示牌、座椅、立式宣传板和临时障碍物等元素,并通过改变相机视角、照度和遮挡位置生成不同可见条件;AnyLogic用于建立老年代理体在节点间的移动与决策规则,包括基础步速、停顿概率、转向迟滞和再确认行为。两端的数据通过CSV和JSON文件交换,从而形成可复现的实验流程。

为了让实验室后续更容易复核结果,本文把所有参数写成可配置变量。标识对比度以亮度比值表示,节点间距按实际场景距离设定,安装高度以地面至标识中心的高度记录,代理体速度和停顿概率则按年龄组分别设置。批处理脚本能够自动生成不同方案组合并调用仿真模型运行,最终输出到达时间、错误转向、停顿次数和节点日志。这样即使后期更换检测器、补充实拍数据或接入深度学习模型,也能在原有框架上继续扩展。

在参数组织方式上,本文采用配置表而非硬编码,便于实验室复用。研究者只需调整图像路径、节点坐标、对比度阈值、年龄组速度和障碍位置,即可生成可比较结果;后续扩展到图书馆大厅、行政窗口或门诊区域时,也不必改动主流程。

3 结果与讨论

仿真以“入口门厅—服务台—通道转角—候梯区—电梯厅”为基本路径,设置基础方案与优化方案两组。基础方案中,对比度取3.0,标识安装高度为1.8 m,节点间距16 m,仅在入口处提供一次方向提示;优化方案中,对比度提高到4.5左右,安装高度调整为1.6 m,节点间距缩短为12 m,并在转角和终点前增加重复提示。两种方案分别在65—69岁、70—79岁和80岁及以上三个年龄组中进行多轮仿真。

总体结果表明,优化策略能够明显降低老年代理体在关键节点处的犹豫和回头,关键指标变化如图1所示。以70—79岁组为例,平均寻路时间由122.6 s降至90.5 s,下降约26.2%;错误转向次数由2.8次降至1.5次,停顿次数由4.6次降至2.7次,可达性评分由63.4分提升至82.7分。对于80岁及以上组,重复提示和较高对比度同样能改善节点确认能力。

从变量敏感性来看,对比度和节点连续提示是影响最大的两项。当对比度由3.0提高到4.5时,分叉节点的首次识别成功率提升最明显;当对比度继续增加到7.0以上时,收益开始减弱,说明仅靠继续提高亮度反差并不能线性改善寻路表现。与之相比,缩短节点间距、在转角前设置辅助提示、在终点前增加确认信息,往往能更直接降低老年人反复停顿和回头检查的频率。

在节点级日志分析中可以看到,基础方案的主要问题并非完全找不到方向,而是路径确认过程过于依赖临时判断。代理体从入口进入主通道后往往能够保持向前移动,但在首个转角处和终点前最容易出现停顿集中、视线回扫和短距离折返。优化方案通过在这些关键位置增加重复提示,使确认动作由“走错后回头”转变为“到点即确认”,因此在总时间上的改善看似只有二十多个百分点,却能同步带来停顿减少、错误转向降低和评分提升等一系列连锁收益。

不同年龄组之间的差异也具有解释意义。65—69岁组整体步速较快,对对比度变化较为敏感,说明其寻路效率更多受信息可见性影响;70—79岁组既受对比度影响,也明显受节点连续提示影响,是策略优化收益最稳定的一

组；80 岁及以上组则对重复提示、较短节点间距和终点前确认信息更加依赖，说明随着年龄增加，视觉识别之外的决策负担同样在上升。因此，适老化引导不宜只追求单一大号或高亮色，而应把“连续确认”放在更重要的位置。

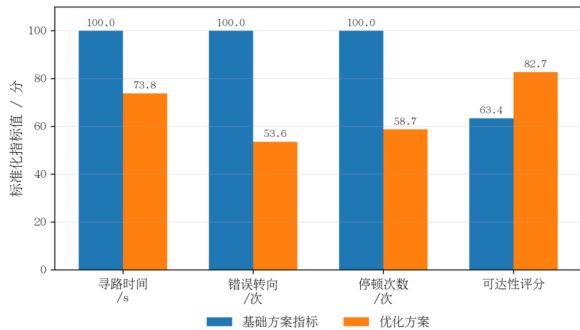


图1 视觉引导策略优化前后关键指标比较

表2 不同年龄组在两种策略下的仿真结果

年龄组	方案	时间/s	错误/次	停顿/次	评分/分
65—69	基础	108.2	2.1	3.6	69.8
	优化	82.6	1.2	2.1	85.9
70—79	基础	122.6	2.8	4.6	63.4
	优化	90.5	1.5	2.7	82.7
80+	基础	141.3	3.4	5.2	57.6
	优化	106.4	2.0	3.4	76.8

本文还利用仿真样本拟合“标识对比度—节点间距—可达性评分”的关系。结果显示，在安装高度约 1.6 m 时，对比度 4.5 左右、节点间距 12 m 附近较稳定；若间距继续增大，即使提高对比度，评分也会受连续性下降限制。该分析可为现场布设提供先验筛选依据。

从实验室实施角度看，本文方案具有分步落地性。研究者可先用 Python 脚本诊断场地照片，判断哪些标识对比度不足、哪些节点提示中断；再将典型路径搬到 CARLA 和 AnyLogic 中比较参数，最后把仿真中表现较好的方案用于现场试布。

需要说明的是，可达性评分并非替代真实老年人的主观感受，而是为不同布设方案提供快速比较指标。它把寻路时间、错误转向、停顿次数和绕障附加距离合并到同一框架下，便于多方案筛选；方案初筛完成后，仍需通过少量真实受试者补充验证。

从工程应用角度看，本文提出的策略并不要求一次性大规模改造。对于校园或社区中的既有建筑，可以先在入口、主转角和终点前三类关键节点做低成本优化，例如更换对比度较高的箭头牌、补充重复提示、调整悬挂高度或加设地面辅助线；待局部效果稳定后，再向整条路径扩展。由于 Python 脚本能够先给出可疑节点和候选参数区间，管理人员不必盲目试错，能够在较短时间内形成更有针对性

的改造方案。

从空间类型看，医院门厅与社区服务中心虽都是老年人高频活动空间，但信息组织方式不同。医院入口多、临时告示多、人流复杂，视觉引导更应帮助使用者完成第一次方向判断；社区和校园楼宇常见长走廊与重复门洞，更需要转角前确认和终点前确认。

从脚本运行结果看，参数并不是彼此孤立发挥作用。若只提高标识对比度而不缩短节点间距，代理体在远距离时能够较早发现方向，但到了转角处仍可能因为提示中断而发生停顿；若只增加重复提示而不处理遮挡和安装高度，老年人虽然知道应该寻找下一个标识，却不一定能在合适视域内及时捕捉到它。也就是说，适老视觉引导更适合采用“适度提高对比度 + 保持连续提示 + 控制安装高度 + 减少关键节点遮挡”的组合策略，而不是依赖单一参数的极端优化。这一点与实际改造场景中的经验判断是一致的，也说明 Python 批处理与仿真比较在早期方案筛选中具有现实价值。

后续研究可继续深化两个方向。一方面，可用轻量化深度学习检测器替换规则识别模块，提高复杂光照和遮挡条件下的鲁棒性；另一方面，可在代理体模型中引入更细粒度的视觉搜索和注意转移机制，并利用视频日志或眼动数据修正参数。

在改造优先级排序上，本文的结果也给出了一条较为清晰的实施顺序。对于预算有限的项目，第一步应优先修正入口处和首个转角节点的标识对比度，因为这里直接关系到老年人能否在进入空间后的最短时间内建立正确方向感；第二步应检查主路径上是否存在提示中断、间距过大或易被临时设施遮挡的问题；第三步再根据终点类型补充确认性提示。若把有限资源平均分散到整栋建筑，往往难以在关键节点形成足够的改善强度，而按照上述顺序逐步推进，更容易在短期内看到实际效果。

对于教学和课程实验而言，本文方案具有示范性。学生可先从场地照片标识识别入手，理解对比度、可见距离和节点连续性的关系；再把识别结果转为路径图，在 AnyLogic 中观察不同年龄组代理体的寻路差异，最后结合评分趋势给出优化建议。该方法可转化为计算机视觉、仿真建模和适老化设计交叉课程的实验案例。

同时，视觉提示效果不仅取决于初始设计，也会受到照明老化、表面污损、临时张贴物、活动展架和季节性布置影响。因此，完成首轮布设后，应建立简化巡检清单，定期复查对比度、遮挡和关键节点提示完整性。

4 结语

研究围绕老年人无障碍空间中的视觉引导问题,构建了“Python 识别—路径建图—联合仿真—策略优化—结果预测”的技术链。结果表明,较高对比度、适中安装高度、较短节点间距以及转角与终点前重复提示,是提升空间可达性的关键因素。该方法实现成本较低、参数可复用、结果便于代码复核,可为适老化改造和后续真实场景实验提供参考。

参考文献:

- [1] Bosch S J, Gharaveis A. Flying solo: a review of the literature on wayfinding for older adults experiencing visual impairment[J]. *Herd*, 2017, 10(3): 44–67.
- [2] Mishler A D, Neider M B. Improving wayfinding for older users with selective attention deficits[J]. *Ergonomics in Design*, 2017, 25(3): 8–14.
- [3] Wu J, Liu X, Lu C, et al. A design framework of medical wayfinding signs for the elderly[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(18): 6734.
- [4] Dosovitskiy A, Ros G, Codevilla F, et al. CARLA: an open urban driving simulator[C]//*Proceedings of CoRL*. 2017: 1–16.
- [5] Bradski G. The OpenCV Library[J]. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000, 25(11): 120–125.
- [6] Harris C R, Millman K J, van der Walt S J, et al. Array programming with NumPy[J]. *Nature*, 2020, 585(7825): 357–362.
- [7] Hagberg A A, Schult D A, Swart P J. Exploring network structure and function using NetworkX[C]//*Proceedings of SciPy*. 2008: 11–15.
- [8] W3C. Understanding success criterion 1.4.3: contrast (minimum)[EB/OL].