

基于室内场景的盲人轨迹与导航研究

史安朔¹, 徐志昊^{1,2*}, 孙浩凯¹, 盛昭瑜¹, 叶荣坤², 刘雪²

¹计算机科学技术学院, 青岛大学, 山东 青岛

²泛在网络与城市计算研究所, 青岛大学, 山东 青岛

收稿日期: 2021年11月22日; 录用日期: 2021年12月17日; 发布日期: 2021年12月27日

摘要

在世界范围内, 室内盲人导航辅助领域越来越突出。本文分两个阶段对室内盲人轨迹与指令导航进行了全面的研究。首先, 在室内盲人轨迹的数据分析阶段, 本文分析了轨迹与指令之间的关系。其次, 为了研究指令与盲人行为之间的关系, 本文提出了盲人对指令的遵从度与敏感度的概念。同时, 本文提出了路径分离度指标, 该指标能够直观地反映出盲人的实际路径与计划路径的误差。结果表明, 不同指令对盲人行为影响不同, 在保证室内盲人正常行走的情况下, 适当降低道路宽度有助于稳定盲人行走状态。

关键词

导航辅助技术, 室内轨迹, 盲人行为

Research on Trajectory and Navigation for Blind People Based on Indoor Scenes

Anshuo Shi¹, Zhihao Xu^{1,2*}, Haokai Sun¹, Zhaoyu Sheng¹, Rongkun Ye², Xue Liu²

¹College of Computer Science and Technology, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Institute of Ubiquitous Networks and Urban Computing, Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Nov. 22nd, 2021; accepted: Dec. 17th, 2021; published: Dec. 27th, 2021

Abstract

The field of indoor navigation aids for the blind is becoming increasingly prominent worldwide. In this paper, a comprehensive study of indoor trajectory and command navigation for the blind is conducted in two phases. First, in the data analysis phase of indoor trajectories for the blind, this work analyzes the relationship between trajectories and commands. Second, in order to investigate the relationship between commands and blind people's behavior, this work proposes the con-

*通讯作者。

文章引用: 史安朔, 徐志昊, 孙浩凯, 盛昭瑜, 叶荣坤, 刘雪. 基于室内场景的盲人轨迹与导航研究[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(12): 2982-2992. DOI: 10.12677/csa.2021.1112301

cept of blind people's compliance and sensitivity to commands. At the same time, this work proposes the path separation index, which can visually reflect the error between the actual path and the planned path of blind people indoors. The results show that different instructions have different effects on the behavior of blind people, and that an appropriate reduction of the road width helps stabilize the walking state of blind people while ensuring normal walking indoors.

Keywords

Navigation Aids, Indoor Trajectories, Blind People's Behavior

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. 引言

根据世界卫生组织对盲人数量情况的估计, 预计到 2030 年, 世界上视力有缺陷的人将达到约 2500 万[1]。盲人出行困难已经成为了严重的社会公共问题之一, 盲人的出行问题越来越受到政府部门和研究人员的广泛关注。

在世界范围内, 公共场所的盲人导航还停留在传统的盲人导航阶段。在室外情况下, 盲人导航技术主要有两种, 即超声波导航和 GPS 导航。前者利用超声波测距的原理向盲人告知前方是否有障碍物以及障碍物的距离。这种方法仅仅具有感知障碍物的能力, 不能给盲人提供正确的行走指令, 对盲人的帮助有限。针对室内情况, 盲人导航工具与技术还比较匮乏, 大部分只能依靠人为引导。盲人室内安全行走成为一个待解决的重大问题。在现实世界中, 盲人在行走过程中需要辅助设备为其发出运动指令。为了使指令发送的更加精准, 需要考虑在室内情况下盲人接受指令后轨迹偏离的影响因素, 如盲人的群体回避行为、与室内障碍物的碰撞避让行为, 道路的宽度, 盲人对不同指令信号的不同反应程度, 轨迹的总长度, 以及盲人的随机行为[2]等因素。

本文主要研究盲人在路径中不同节点的行为, 以及指令对盲人在室内的行为的影响。本文提出了遵从度和敏感度指标来研究分析盲人对导航指令的感知与反应状态, 同时, 提出了路径分离度指标用来评估轨迹偏离程度。本文研究盲人在听从指令之后的行为, 如群体回避和从众动作、对障碍物边界的反应, 以及对指令的敏感度、遵从度和路径分离度进行了分析。然后以统计的方式对所开发模型的参数进行校准, 根据观测数据直接估计参数。最后, 通过位置、瞬时速度、盲人轨迹、以及指令遵从等方面对模型性能进行了验证。

本研究的主要贡献总结如下。

1) 本文提出了路径分离度的概念。到目前为止, 大多数研究通常对盲人的轨迹进行建模, 很少考虑路径偏离的成分。本研究提出的路径分离度的模型可以真实地估计整个盲人轨迹与规划轨迹偏离结果, 也可以得出指导盲人行走的总体过程。为以后在指令导航领域的研究提供了新的想法。

2) 本文提出了盲人对指令的遵从度与敏感度概念。虽然大多数现存的盲人导航系统按照环境或者轨迹对盲人提供了正确的指令, 但是由于盲人的主观选择, 以及对不同指令的敏感度与遵从度不同, 导致了导航系统即使在适当的时间节点提出了正确的指令, 依然出现盲人行为与规划行为出现不同程度改变的现象。所以提出盲人对指令遵从度与敏感度概念, 探索不同指令对盲人的影响, 更人性化地为室内盲

人导航提供帮助,为室内盲人导航领域的产品开发在指令设计方面提供借鉴的价值。

3) 本文提出了新型的位置关系式模型,在考虑了道路宽度与其他影响情况下,在位置相关性方面首次添加了本研究提出的路径分离度、指令敏感度与遵从度等因素,有利于快速地计算某些节点的位置关系,建立位置与其他影响因素之间的关系。

2. 相关工作

随着单片机技术、无线通信技术和人工智能算法[3] [4] [5] [6]的进一步发展,以及以单片机为核心的微型控制装置的兴起,为盲人导航系统的数据传输和控制拓展了应用领域。研究人员提出的智能盲人导航系统,包含超声波测距,红外线测温,以及 GPS 定位等现代化的技术[7]。Zeng 等人[8]开发了用于信号交叉口行人行为分析的微观仿真模型,利用统计学对交叉口几何结构和交通信号控制做了研究,提出了期望方向、停走决策、人行横道驱动力、车辆驱动力、信号引力以及群体回避等模型。Chen 等人[9]建立了车辆转弯路径、转弯速度、间隙接受模型和行人行为模型等多种行为模型,将校准后的模型集成到一个仿真平台中。这样可以呈现车辆和行人在不同布局和运行条件下的随机行为。为了向视障人士提供自主导航和定向,Meshram 等人[10]提出了一种名为 NavCane 的新型电子辅助设备。该设备可帮助人们在室内和室外环境中找到无障碍路径。此外,NavCane 还有助于识别室内环境中的物体。Garcia-Macias 等人[11]对盲人的行为进行了分析,从而设计了一种用于指导盲人的模块化的、适应性强的可穿戴系统。

随着 Microsoft Kinect 和深度学习技术[12] [13] [14] [15] [16]的出现,越来越多的机器被赋予了感知、行动及与环境互动的能力。近年来,将移动计算的自由度和灵活性与计算机视觉相结合的方法显示出了巨大的潜力,并开发出许多相关的应用,如用于在交通路口为盲人提供帮助的 Crosswatch 系统;用于在未知的室内环境中协助盲人移动的 Roshni 项目;用于室内和室外盲人导航的 ARIANNA;以及基于 3D 智能手机的空中障碍物检测系统。这些新技术都给予了盲人诸多的帮助。

3. 方案设计与分析方法

3.1. 数据集

本文所分析的数据来源于一个三层超市实验基地。实验过程中对 32 位盲人进行了指令行走测试,提供了对应每层每个盲人带有时间戳的行走轨迹以及对应接收的指令信息。完整轨迹的时间步长为 500~1000 s,共计 8097 条数据。部分道路与障碍物的分布以及盲人的轨迹如图 1 所示,其中黑色矩形为障碍物,如问询台,货架以及垃圾桶等。

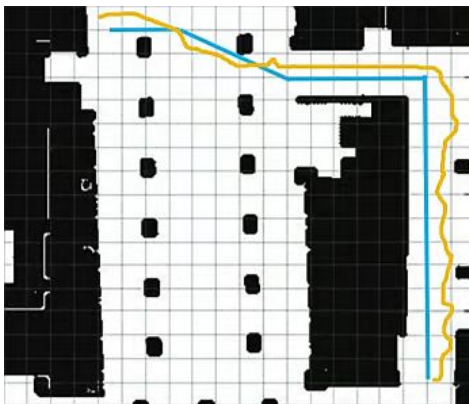


Figure 1. Obstacle distribution and the trajectory of the blind
图 1. 障碍物的分布与盲人轨迹

3.2. 盲人位置分布

盲人所在的位置对他们的行走过程至关重要。因为当某个时刻盲人偏离道路太远，或者矢量(盲人速度方向与速度大小)差别过大，很难走到道路的出口。盲人完成室内行走任务有三个阶段，即从起点开始听指令，按指令的提示进行方向选择与行走，最后到达目的地。

对盲人的运动轨迹进行分析可知，盲人的入口位置与行走轨迹受到室内障碍物、建筑物几何结构、先前通过位置和其他行人的密度的影响。考虑到 Weibull 分布[17]能够代表各种类型的分布，因此本文建立了一种基于位置分布的概率密度函数，如公式(1)所示。

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (1)$$

$$\alpha = f(y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{1,n}) = \lambda_{1,1}y_{1,1} + \lambda_{1,2}y_{1,2} + \dots + \lambda_{1,n}y_{1,n} + \lambda_{1,n+1}$$

$$\beta = f(y_{2,1}, y_{2,2}, \dots, y_{2,n}) = \lambda_{2,1}y_{2,1} + \lambda_{2,2}y_{2,2} + \dots + \lambda_{2,n}y_{2,n} + \lambda_{2,n+1}$$

其中， $f(x; \alpha, \beta)$ 是通过位置分布的概率密度。 x 为盲人起步的位置。 $y_{1,1}, y_{1,2}, \dots, y_{1,n}$ 是影响因素的自变量，如道路的宽度，附近障碍物的占比，起点到终点的路长等。 $\lambda_{1,1}, \lambda_{1,2}, \dots, \lambda_{1,n}$ 是用最大似然法估计的模型系数。

3.3. 方向决策

行为方向决策的过程类似于路径选择策略。如果盲道是直线，则只有两条指令，即“直行”与“停止”。但由于障碍物分布的影响，行驶路线是复杂曲线。盲人在一段时间内只能延续上一个指令，在接受新指令时的实际行走方向与指令规划方向会出现短暂的误差，在某一节点的行为走势如图 2 所示，其中 V_α 表示延续上一个指令时的真实瞬时速度与运动方向， P_α 表示指令所表示的方向。

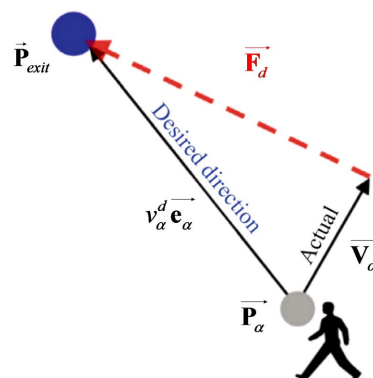


Figure 2. Blind direction decision
图 2. 盲人方向决策

3.4. 盲人对指令的敏感度与遵从度

为了给予盲人最正确最简便的指令，以方便盲人到达目的地，我们降低了指令难度，选择了六类指令，分别为：直行，停止，持续向左，持续向右，向左，向右。当盲人执行某个指令之后，如果盲人对方向理解出现差异，则会导致盲人在未来的行走过程中背离计划路径。因此，方向感对盲人尤为重要。盲人对不同指令的敏感度不同，对不同指令的遵从度也会不同，这些因素同样会影响盲人行走的路径。

本文把盲人接受指令与执行此指令的时间间隔称作为等待时间。为了研究在时间维度上指令对盲人

轨迹的影响，我们提出了一项指标，称为指令敏感度。若盲人对某一指令的等待时间较短，则说明盲人对这一指令的敏感度较高。提出指令敏感度指标有利于在未来的指令导航领域提供数据支撑，使得发出指令的时刻能更加精确。由于不同场景下道路空间分布不同，可能导致盲人对执行同一种指令的等待时间不同，所以我们对三种不同场景做了测试。三种不同场景下的平均等待时间如图 3 所示。盲人对各种指令的敏感度的计算过程如公式(2)所示，可以更直观的分析与计算盲人对各种指令的敏感度。其中 w_i 表示盲人在三种场景下第 i 种指令的平均等待时间， $S(i)$ 表示盲人对第 i 种指令的敏感度。盲人对部分指令较为敏感，反应时间相对其他的指令会减少，执行敏感指令的时间会缩短一些。盲人对不同指令的敏感度如图 4 所示。

$$S(i) = \exp^{-A_i}$$

$$A_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} \tag{2}$$

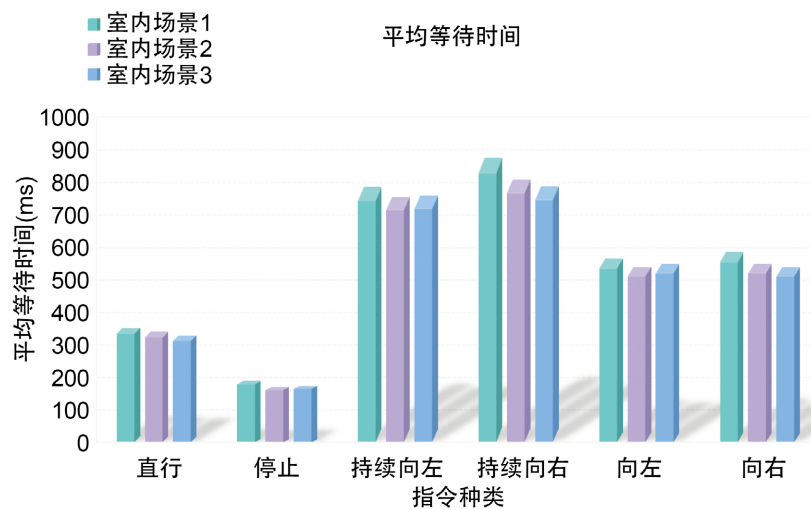


Figure 3. Average waiting time for blind people to execute different instructions
图 3. 盲人执行不同指令的平均等待时间

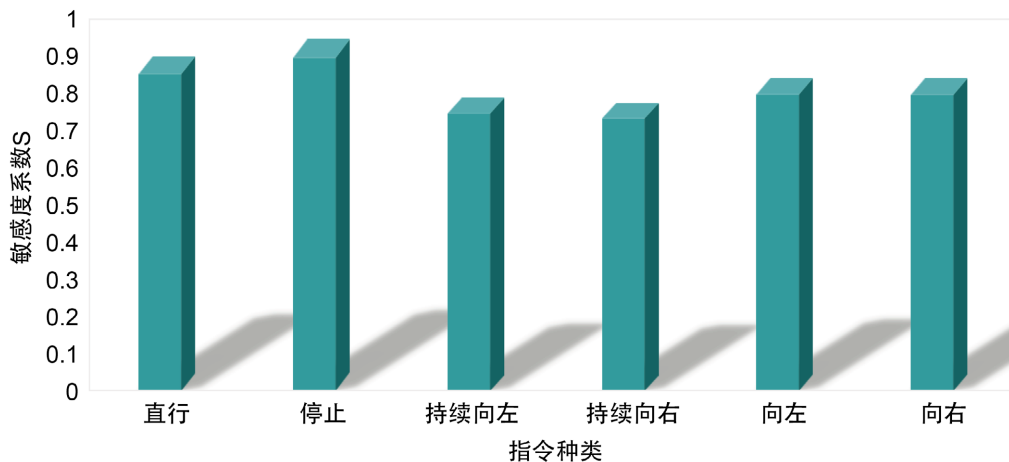


Figure 4. Sensitivity of blind people to different instructions
图 4. 盲人对不同指令的敏感度

通过观察图 4 可以直观地看出, 盲人对简单指令“停止”的指令敏感度最高, 这可以在指令导航领域提供一些启发, 例如当判断盲人运动方向与规划方向差距超过某个阈值时, 可以及时添加停止指令进行纠正。在设计室内道路分布时, 可以多设计直线道路, 这样可以更好的指导盲人在室内行走。

指令遵从度是盲人在听从某一指令后行走轨迹是否规范的一个指标, 我们利用每次执行完指令之后实时位置与规划路径的偏离量对指令遵从度进行了分析, 提出公式(3)对指令遵从度进行计算。当盲人执行完某种指令后, 所处的位置与规划路径偏离度较高时, 则表示盲人对这个指令的遵从度较低。盲人对指令的遵从度系数 F 如图 5 所示。通常情况下, 盲人对“直行”与“停止”的指令遵从度比较高, 对“持续转弯”的指令遵从度偏低一些。

$$F(i) = \exp^{-B_i}$$

$$B_i = \frac{\sqrt{|X_{\alpha i} - X_{\beta i}|^2 + |Y_{\alpha i} - Y_{\beta i}|^2}}{1 + \sqrt{|X_{\alpha i} - X_{\beta i}|^2 + |Y_{\alpha i} - Y_{\beta i}|^2}} \quad (3)$$

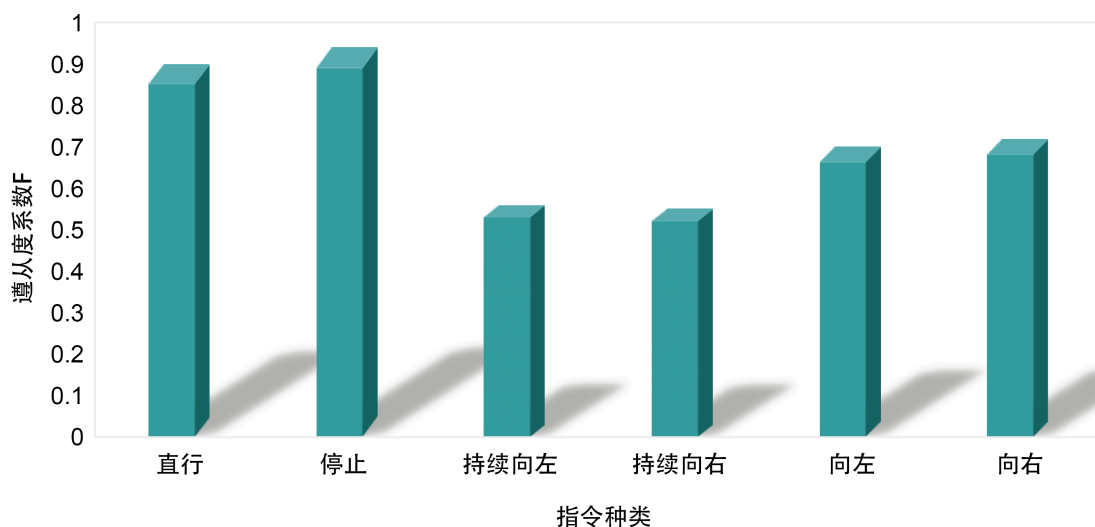


Figure 5. Blind people's compliance with different instructions
图 5. 盲人对不同指令的遵从度

通过分析图 5 我们发现, 指令遵从度对盲人轨迹影响较大。主要是由于在宏观角度中盲人对执行指令的平均等待时间差距不大(单位为毫秒), 所以导致盲人对不同指令的敏感度差距不大, 而盲人在执行“持续向左”与“持续向右”的指令时方向变化过于灵敏, 执行完指令后的位置与指定位置差距较明显, 所以会导致不同指令遵从度盲人轨迹影响较大。这给我们在指令导航时加入实时轨迹预测模块带来了启发。如果盲人运动方向与规划方向出现明显偏差, 应及时穿插停止指令, 与其他指令配合以纠正盲人的行走方向, 这可以显著降低路径分离度, 提高盲人在室内行走的安全性, 并缩短到目的地的时间。

3.5. 路径分离度

本文重点对盲人按照指令行走行为进行了分析, 盲人行走速率较慢, 轨迹的横坐标和纵坐标随时间步长变化比较小, 盲人的位置改变比较缓慢。由于单位时间内盲人显著的位置变化, 我们对原始数据进行了更新, 增大了时间戳。为了更直观地体现盲人实际路径与计划路径的误差, 我们提出了路径分离度。如公式(4)所示。

$$D(f) = \frac{\exp(f)}{1 + \exp(f)}$$

$$F(n) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \sqrt{|X_{\alpha i} - X_{\beta i}|^2 + |Y_{\alpha i} - Y_{\beta i}|^2} + (V_{\alpha i} - V_{\beta i}) \Delta t + k_i \Delta t + Z_i \quad (4)$$

$$f(n) = \frac{F(n)}{\sum_{i=1}^n \sqrt{|X_{\alpha i} - X_{\beta i}|^2 + |Y_{\alpha i} - Y_{\beta i}|^2}}$$

路径分离度的决定因素除了节点的位置误差外，还包括道路的宽度与瞬时方向等因素，通过公式(4)比较局部路径以及全局路径的分离度。

其中 k_i 表示第 i 个节点对应道路的宽度系数，道路越宽，宽度系数值越大，盲人轨迹越容易偏离， $F(n)$ 偏离量越高。 Z 表示其他影响因子。 X 和 Y 分别表示二维坐标系的横纵坐标， α 和 β 分别表示真实路径与计划路径。 $V_{\alpha i}$ 和 $V_{\beta i}$ 分别表示真实路径上与计划路径上的速度。

本文对路径分离度设计了偏离总量 $F(n)$ ，来计算盲人真实轨迹偏离量。路径分离度不仅与偏离总量相关，也与节点的轨迹路径长度有关。设计路径分离度既能直观的看出某些节点偏离度，又能得出整体的盲人行走过程的偏离程度。盲人的平均行走速度为 0.3~0.5 m/s，由于数据量较大，所以设置节点间的间隔为 4 秒(s)，节点间的距离约为 2 米(m)。 $F(n)$ 为偏离总量， $f(n)$ 为偏离度，如图 6 所示。

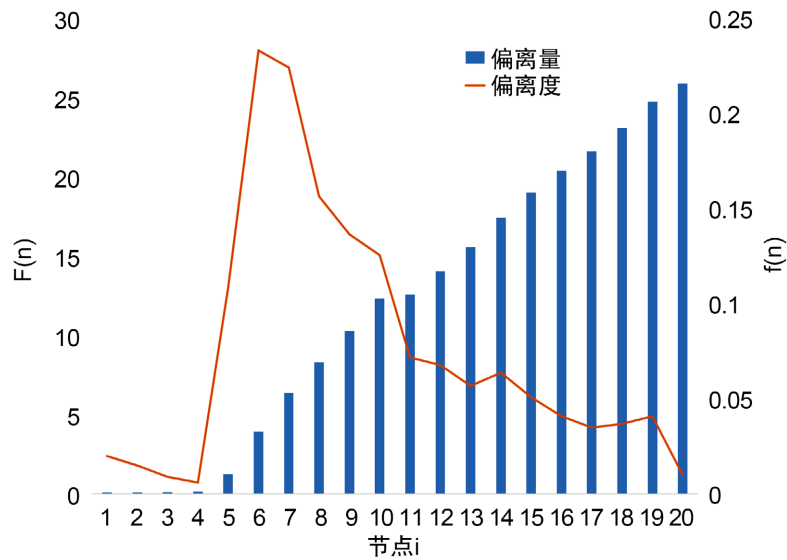


Figure 6. Offset volume (F) and Deviation degree (f)
图 6. 偏移量 F 与偏移度 f

从图 6 可以观察到，由于 0~4 节点时盲人与规划路径偏差很小，所以公式(4)中第三个小公式的分母所表示的路径长度逐渐增加，导致 0~4 节点中路径分离度逐渐减小。4~6 节点的实际路径与规划路径偏移量突增，所以偏离度也出现了较大的涨幅。节点 6 之后盲人的轨迹又重新返回到了规划路径中，随着节点的增加，路径分离度降低。在实际场景中，随着节点个数的增加，道路宽度逐渐变小，偏离度也逐渐变小，室内道路宽度的缩减一定程度上有利于提高在室内指导盲人行走的效果。

3.6. 从众心理与群体回避行为

本工作在固定地点对多位盲人进行行走测试，目的是研究盲人是否有从众心理及群体回避行为。从

众行为是指有意识地跟随周围盲人一起行走，群体回避行为是指对走向相反的人群产生排斥效应。测试中，在适当的节点给予盲人正确的指令，目的是希望盲人朝着目标位置行走。然而，由于周围环境的刺激，盲人的矢量(速度大小及方向)会发生动态变化。在从众心理测试中，让众多盲人从出发点一起行走，能够发现盲人行为更加有序稳定，可以很清晰地发现盲人具有从众心理。当盲人运动方向与规划路径的方向出现偏差时，把盲人瞬时运动方向分解，盲人在障碍物边界(盲人与障碍物碰撞的边缘)会存在速度分量 V ，障碍物对盲人的影响因子记为 Fr ，障碍物排斥力使盲人能与障碍物保持一定的距离。当周边正常的行人与盲人的密度增加到一定程度时，盲人通常会优先调整其速度大小和方向，采取减速或者转向保持不变的行为来增加安全感，此时就会产生群体回避行为。假设盲人前方的可触及范围如图 7 中扇形阴影所示。该范围内与盲人走向相反的人群会对此盲人产生回避排斥效应，影响盲人的行为。

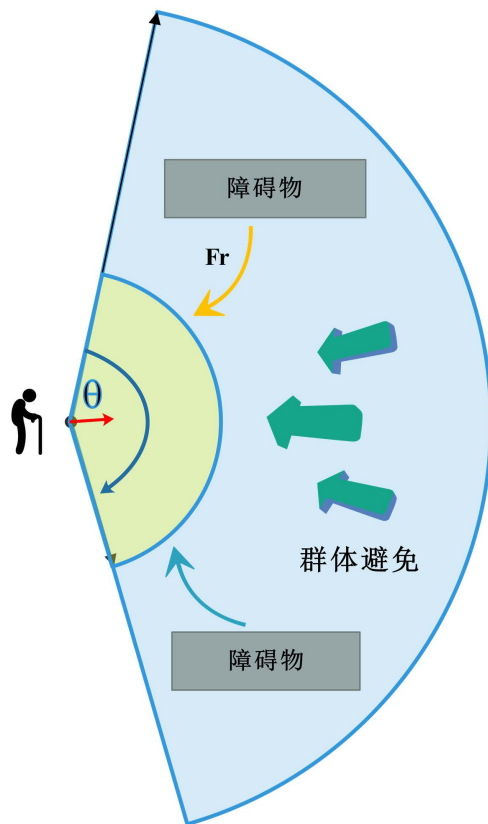


Figure 7. Group avoidance behavior and obstacle repulsion

图 7. 群体回避行为与障碍物排斥力

3.7. 盲人位置关系

盲人行为是由每一个节点的行为特征组成的，而且每个相邻节点之间有着密切的联系。章节 3.1~3.6 的工作为计算盲人位置关系做了铺垫。为了约束位置关系式中某些参数的范围，并计算下一个节点的位置，本文提出一种位置关系式如公式(5)所示。

$$\begin{aligned}
 P(x, f, D, S, F)_x &= f(x; \alpha, \beta) * [1 - D^{(i, i+1)}] * [x_i + S(i) * F(i) * V_i * \cos \theta_i * \Delta t_i] * C_i \\
 P(x, f, D, S, F)_y &= f(x; \alpha, \beta) * [1 - D^{(i, i+1)}] * [y_i + S(i) * F(i) * V_i * \sin \theta_i * \Delta t_i] * C_i
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

公式(5)中的两个表达式分别表示从 i 节点到下一个 $i + 1$ 节点的横坐标与纵坐标的位置变化。 $f(x; \alpha, \beta)$ 表示 x 节点的位置分布概率, D 表示分离率, S 和 F 分别表示盲人对此节点接受指令的敏感度与遵从度, V 表示这个节点的规划速度, θ 表示瞬时速度与规划速度的夹角, Δt_i 表示两个相邻节点的时间差, C 为群体避免、障碍物分布等影响因子。

通过局部位置变化, 我们可以推出全局位置关系式, 如公式(6)所示。

$$\begin{aligned}
 P(x, f, D, S, F)_x &= x_i + \sum_{i=1}^n \left\{ f(x; \alpha, \beta) * \left[1 - D^{(i,i+1)} \right] * \left[S(i) * F(i) * V_i * \cos \theta_i * \Delta t_i \right] * C_i \right\} \\
 P(x, f, D, S, F)_y &= y_i + \sum_{i=1}^n \left\{ f(x; \alpha, \beta) * \left[1 - D^{(i,i+1)} \right] * \left[S(i) * F(i) * V_i * \sin \theta_i * \Delta t_i \right] * C_i \right\}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

3.8. 道路宽度与障碍物分布的影响分析

本文使用了空间偏离度来体现道路宽度与障碍物分布对盲人轨迹的影响程度。空间偏离度是指在执行完指令后的瞬时位置与指定位置之间的距离。障碍物分布情况包含障碍物的个数, 障碍物的宽度, 障碍物位置分布等, 本文重点研究障碍物的个数对盲人轨迹的影响。在三种场景下, 通过改变某些指定的室内环境(道路宽度和障碍物分布)来进行多次测试。执行完一次指令就视为完成一次测试。对多次重复实验的实验结果取平均值。空间偏离度的计算方法如公式(7)所示。

$$sd^i = \left| X_\alpha^i - X_\beta^i \right| + \left| Y_\alpha^i - Y_\beta^i \right|
 \tag{7}$$

其中 sd^i 表示第 i 个节点的空间偏离度, X 和 Y 分别表示二维坐标系的横纵坐标, α 和 β 分别表示真实路径与规划路径。公式中取绝对值之和是为了突出实际位置与目标位置的差距。

宽度系数为道路宽度对盲人轨迹的影响度, 通过研究不同道路宽度的空间偏离度, 来估计宽度系数 k , 如表 1 所示。对四种不同道路宽度的多次测试结果取平均值。不同障碍物的分布情况与对应的空间偏离度的关系如表 2 所示。

Table 1. Road width and spatial deviation

表 1. 道路宽度与空间偏离度

道路宽度	场景 1	场景 2	场景 3	宽度系数 k
<1.5 m	1.2	1.3	1.21	0.01 ± 0.01
1.5~3 m	2.2	2.6	2.18	0.02 ± 0.01
3~4 m	4.3	4.64	4.29	0.04 ± 0.01
>4 m	4.31	4.67	4.32	0.04 ± 0.01

Table 2. Obstacle distribution and spatial deviation

表 2. 障碍物分布情况与空间偏离度

障碍物情况	场景 1	场景 2	场景 3
无	2.9	3.05	2.97
每 20 m 有 1 至 2 个障碍物	2.58	2.6	2.6
每 20 m 有 3 至 4 障碍物	2.45	2.48	2.5
每 20 m 有超过 4 个障碍物	2.4	2.45	2.4

通过分析表 1 可以发现, 道路宽度较小的情况下压缩了盲人的可行走的空间, 道路宽度越小空间偏离度越低, 道路宽度越大盲人更容易偏离计划路径。当道路宽度大于一定阈值时, 空间偏离度差别并不

大。通过分析表 2 可以发现,不同的场景下,障碍物位置布局的不同会导致空间偏离度有差异,而不是由障碍物的个数差异导致。当有障碍物时,可行走的空间被压缩,随着障碍物个数的增加,空间偏离度下降。在每 20 米有 2 个以上的障碍物的情况下,随着障碍物个数的增加空间偏离度变化并不明显,但是会降低盲人的行走速率。这说明在障碍物的个数不超过一定范围的情况下,障碍物对盲人轨迹的空间偏离度的影响并不严重。因此,现实生活中在保证盲人正常的出行需求下,适当降低道路宽度有助于稳定盲人行走状态。

3.9. 参数校准

在路径分离度模型中,共有两个可变的参数,即宽度系数 k 与其他影响因子 Z 。宽度系数是道路宽度对盲人轨迹的影响度。其他影响因子是指指令的复杂度、道路的复杂度、障碍物的分布、道路的长度等因素对盲人运动轨迹的影响,影响因子越大表示盲人行走状态越不稳定。路径长度的计量单位为米(m),时间计量单位为秒(s),速度计量单位为米每秒(m/s)。结合路径分离度模型的设计思路,对整体的实验场景进行分析。影响因子系数 Z 和 C 如表 3 所示。

Table 3. Coefficient result data

表 3. 系数结果数据

指令	道路宽度	障碍物分布情况	系数 Z	系数 C
直行	<1.5 m	无	0.02 ± 0.01	1.15 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.04 ± 0.01	1.18 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.03 ± 0.01	1.17 ± 0.1
	>3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.04 ± 0.01	1.18 ± 0.1
	>3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.04 ± 0.01	1.18 ± 0.1
停止	<1.5 m	无	0.02 ± 0.01	1.05 ± 0.02
	1.5 m~3 m		0.02 ± 0.01	1.05 ± 0.02
	>3 m		0.02 ± 0.01	1.05 ± 0.02
持续向左	1.5 m~3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.08 ± 0.01	1.32 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.08 ± 0.01	1.3 ± 0.1
持续向右	1.5 m~3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.08 ± 0.01	1.38 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.08 ± 0.01	1.35 ± 0.1
向左	1.5 m~3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.06 ± 0.01	1.22 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.05 ± 0.01	1.20 ± 0.1
	>3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.07 ± 0.01	1.25 ± 0.1
向右	1.5 m~3 m	每 20 m 有 1 至 4 个障碍物	0.06 ± 0.01	1.25 ± 0.1
	1.5 m~3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.05 ± 0.01	1.22 ± 0.1
	>3 m	每 20 m 超过 4 个障碍物	0.07 ± 0.01	1.28 ± 0.1

通过研究表 3 可以发现,道路宽度和障碍物的分布情况是导致盲人偏离规划路径的主要影响因素。道路宽度越大,障碍物越少,影响因子越大。在障碍物个数不变的情况下,随着道路宽度增加,影响因子增加的幅度较大;在道路宽度不变的情况下,随着障碍物个数的增加,影响因子变化幅度较小。通过对比“持续向左”与“持续向右”,“向左”与“向右”命令对应实验的结果,我们发现不同的命令对应的影响因子也有轻微的变化。这意味着盲人对同类型指令的执行结果也具有差异性。道路宽度相较于

障碍物数量分布对盲人运动轨迹的影响更大,道路宽度的缩小可以稳定盲人行走状态,障碍物数量在不超过特定范围的情况下对盲人轨迹偏离影响并不大。

4. 结论

室内盲人导航与辅助技术将持续提高视觉障碍人士的生活质量。针对瞬时位置、瞬时速度、盲人轨迹、与行人碰撞的可能性以及障碍物避让等方面的问题,我们对模型的性能进行了验证。主流移动技术功能的增强、计算机视觉处理算法的进步、电子设备的小型化、尖端的新医疗干预措施,以及本文提出的盲人对指令的遵从度、敏感度、室内道路宽度系数和其它影响因素等概念,有望进一步推动导航领域内的室内盲人辅助导航技术的发展,从而提高盲人室内行走的安全性。

参考文献

- [1] 李建军. 全球视力损伤及几种重要眼病的人数: 2019年WHO世界视力报告[J]. 国际眼科纵览, 2019, 43(5): 360.
- [2] 翁宝凤, 罗秀锋. 盲人地理空间认知的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(11): 15-18.
- [3] Lv, Z., Li, J., Dong, C., Li, H. and Xu, Z. (2021) Deep Learning in the COVID-19 Epidemic: A Deep Model for Urban Traffic Revitalization Index. *Data & Knowledge Engineering*, **135**, Article ID: 101912. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101912>
- [4] 周宇, 胡振宇, 杨振国, 刘文印. 基于可验证随机函数的权威证明共识算法改进[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(2): 383-393. <https://doi.org/10.12677/CSA.2021.112038>
- [5] Xu, Z., Li, J., Lv, Z., Wang, Y., Fu, L. and Wang, X. (2021) A Graph Spatial-Temporal Model for Predicting Population Density of Key Areas. *Computers & Electrical Engineering*, **93**, Article ID: 107235. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107235>
- [6] 吴东, 柴伟, 刘星宇, 等. 人工智能全髌关节置换术髌臼杯放置算法的实验研究[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(3): 176-185.
- [7] 张浩淼. SPCE061 下智能盲人导航系统研究[J]. 数码世界, 2019, 1(5): 32.
- [8] Zeng, W., Chen, P., Nakamura, H. and Iryo-Asano, M. (2019) Application of Social Force Model to Pedestrian Behavior Analysis at Signalized Crosswalk. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **40**, 143-159. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.007>
- [9] Chen, P., Zeng, W. and Yu, G. (2019) Assessing Right-Turning Vehicle-Pedestrian Conflicts at Intersections Using an Integrated Microscopic Simulation Model. *Accident Analysis & Prevention*, **129**, 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.018>
- [10] Meshram, V.V., Patil, K., Meshram, V. A. and Shu, F.C. (2019) An Astute Assistive Device for Mobility and Object Recognition for Visually Impaired People. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, **49**, 449-460. <https://doi.org/10.1109/THMS.2019.2931745>
- [11] Garcia-Macias, J. A., Ramos, A. G., Hasimoto-Beltran, R. and Pomares Hernandez, S.E. (2019) Uasisi: A Modular and Adaptable Wearable System to Assist the Visually Impaired. *Procedia Computer Science*, **151**, 425-430. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.058>
- [12] Lv, Z., Li, J., Li, H., Xu, Z. and Wang, Y. (2021) Blind Travel Prediction Based on Obstacle Avoidance in Indoor Scene. *Wireless Communications and Mobile Computing*, **2021**, Article ID: 5536386. <https://doi.org/10.1155/2021/5536386>
- [13] 张彬彬, 江朝晖, 李君君. 融合多模态特征的多流行为识别网络[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(2):10-19.
- [14] 李记花, 李鹤喜, 李威龙. 一种改进的卷积神经网络的数显仪表识别方法[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(2): 257-265. <https://doi.org/10.12677/CSA.2021.112026>
- [15] Xu, Z., Li, J., Lv, Z., Dong, C. and Fu, L. (2021) A Classification Method for Urban Functional Regions Based on the Transfer Rate of Empty Cars. *IET Intelligent Transport Systems*, 1-15. <https://doi.org/10.1049/itr2.12134>
- [16] Lv, Z., Li, J., Dong, C. and Xu, Z. (2021) DeepSTF: A Deep Spatial-Temporal Forecast Model of Taxi Flow. *The Computer Journal*, Article No. bxab178. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxab178>
- [17] Pedrosa, B., Correia, J.A.F.O., Rebelo, C.A.S. and Veljkovic, M. (2020) Reliability of Fatigue Strength Curves for Riveted Connections Using Normal and Weibull Distribution Functions. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, **6**, Article ID: 04020034. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0001081>