具身认知视角下连续触感导盲导向产品设计

张晓晨，姚小玉，胡飞
（广东工业大学，广州 510006）

摘要：目的 为克服现有导盲导向产品导向信息离散、使用过程不流畅等不足，从具身认知的视角提出导向自然流畅的连续触感导盲导向产品设计方案。**方法** 采用人体的触觉通道，协同导向情境和转向行为，以连续导向指引的传动触感作为交互方式，依据人体体表触感的两点判别敏感度，进行 3 种导向方案设计，利用 3D 打印技术快速构造产品实物模型，并通过实验验证与评价 3 种方案的导向有效性，导出最优设计方案。**结果** 实验结果表明，导盲腰带的连续导向方案的有效性最佳，不易造成用户对引导方向的误判，能够实现为视障用户流畅导向的设计目标。**结论** 连续触感的导向方式优于现有基于听觉和触感震动的离散导向方法，且具有实用、易用、廉价和可扩展的优点，适于切入市场为视障人士出行提供帮助。
关键词：机械设计；导向产品；具身认知；3D 打印；导盲系统
中图分类号：TB472　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2021)16-0113-07
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.015

Embodied Cognition Based Design and Verification of Continuous Tactile Guiding Products for the Visually Impaired

ZHANG Xiao-chen, *YAO Xiao-yu*, *HU Fei*
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: In order to overcome the shortcomings of the existing guiding products for the visually impaired, the paper puts forward a continuous tactile guiding product which provides natural and smooth guiding from the perspective of embodied cognition. The research adopts the human body's tactile channel combined with guidance situations and user turning behaviors, uses continuous tactile feedback as an interactive method, and then designs three kinds of guiding schemes according to the two-point discrimination sensitivity. The product functionality models are quickly constructed using 3D printing technology. The effectiveness of the three schemes was verified and evaluated through experiments, and the optimal design scheme was derived. Experiments show that the continuous guidance performance of the guiding belt is the best, and it is not easy to cause the user to misjudge the guidance direction, and it can achieve the design goal of smooth guidance for the visually impaired. The continuous tactile guidance method is superior to the existing discrete guidance method based on auditory and tactile vibration, and has the advantages of practicality, ease of use, low cost and scalability, which enable it to provide travel help for the visually impaired and thus meet the market needs.
KEY WORDS: mechanical design; orientation guidance product; embodied cognition; 3D printing; navigation system for visually impaired

据世界卫生组织统计，当前全球有超过 2.17 亿视障人士，我国视障人数约占其中 18%。对如此庞大的群体而言，出行问题是限制他们融入社会角色和提升生活质量的核心难题之一。近年来，科技服务研究团队已开始关注视障群体的出行问题，提出一系列导盲方案、设计与产品[1-3]。其中以导盲系统中的导向

收稿日期：2021-04-09
基金项目：教育部人文社科青年基金项目（18YJCZH249）；广州市科学技术研究计划一般项目（201904010241）；广东省社会科学研究基地“设计科学与艺术研究中心”资助项目。
作者简介：张晓晨（1984—），男，山东人，博士，广东工业大学讲师，主要研究方向为人工智能设计、可穿戴设计。
通信作者：胡飞（1977—），男，湖北人，博士，广东工业大学教授，主要研究方向为验设计与设计战略。

模块为例，导向方式主要为听觉交互和触感震动交互。虽然以听觉交互或触感震动交互为主的导向模块已经基本实现方向指引功能，为视障用户出行提供便利，但其仅在若干个关键时间或空间节点向用户提供离散化的引导信息，使得视障人群难以实时判断自身移动状态与指引信息的一致性，仍存在导向信息离散、导向认知负担重、导向过程不流畅等缺陷[4]。为此，本文提出在具身认知视角下的，连续触感指引的导盲导向产品设计方案，通过 3D 打印技术快速实现产品原型，进而在单元测试中验证设计方案导向的有效性与准确性。

1 具身认知理论

具身认知最早源于心理学家吉布森提出的知觉生态学理论[5]，核心思想是身体状态改变认知状态，其中“身体状态”包括身体感觉通道（如触觉、温度、气味、颜色知觉、手部动作、头部动作等）、与身体相关的整体感知（如姿势、体感、空间感知）、面部表情等[6]。具身认知强调身体在认知过程中发挥着十分关键的作用，人的认知通过身体体验及行为活动方式形成[7]。认知的具身性主要体现在：（1）认知过程的方式和步骤由身体的物理属性决定；（2）认知的内容由身体提供；（3）认知是具身的，而身体又是嵌入环境的，即认知作为有机体适应环境的一种活动，是身体、情境、行为三者动态协同的结果[7-8]。在具身认知视角下，情境、身体感知与运动系统是认知产生的重要条件，情境为具身认知提供丰富的信息来源，身体感知和运动系统在情境中激发获得大量认知体验，经过大脑处理及刺激加深，最终形成推理、记忆、情绪、语言等稳定的认知结构[9-10]。

在导盲情境中，由于视障群体较难在陌生的环境安全流畅地行走，本研究基于具身认知理论，利用身体的触觉通道和空间感知，以及行为反馈共同形成导向认知，进而为视障用户提供高效易学、自然流畅的出行服务。

2 体表触感的两点判别敏感度

在触感导盲导向产品的设计实践中，目标用户的体表触感敏感度越高，则其感知到的方向信息越准确。人的体表存在大量的触觉感受器，不同部位的触觉感受器在数量、敏感度等方面存在明显差异。两点判别法通过测量两两可察觉并区分的触感感知的最小距离，来量化表示触感敏感度[11]。佐治亚理工大学的一项研究表明，鼻、口唇、指尖等处触感敏感度较高，躯体触感敏感度依次以掌心、腕部、腹部的顺序降低，肩膀、下肢躯干等部位触感敏感度较低[12]，两点触感判别法的触感等高图见图 1。因此，在设计研究中优先选择触感敏感度较高的部位作为触觉交互区。

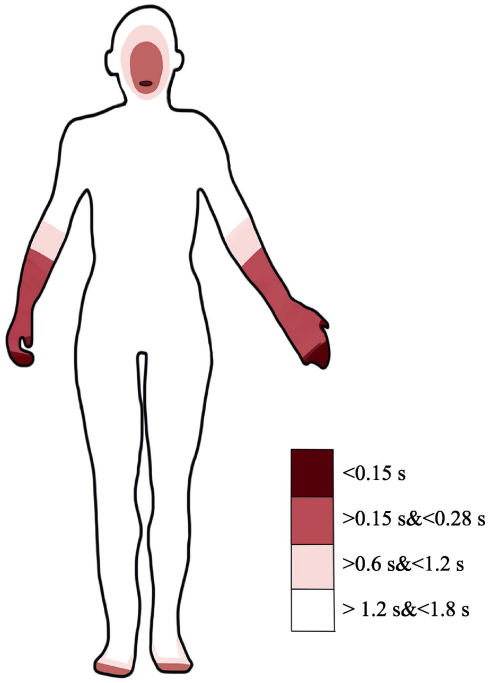


图 1 两点触感判别法的触感等高图
Fig.1 Tactile contour map of the two-point discrimination method

3 视障用户出行业务场景与需求的特殊性

由于手机系统自带导航使用不方便，且导航方向等重要因素不够精确，视障人群较少依赖手机导航系统独立出行，在陌生环境中缺乏独立漫游的安全感。本研究拟提出连续触感导向方案，提升导向的准确性和实时性，增进视障用户的漫游安全感。

Bhatlawande[13]曾访谈 57 名包括视障人士、看护人员以及康复专家等多角色的参与者，以明确导盲辅助系统的需求及其特殊性。结论中，增进可用性与可行性的共识特征包括：充分的周边环境信息、交互界面简洁、外观适宜、重量轻、携带方便、安全性好、性价比高。导向模块是导盲系统的核心，应满足视障用户对于导向准确且交互简单直观、产品质轻便携的同质化需求。

4 导盲系统中导向模块发展现状与分析

目前，导盲系统中的导向方式主要包含听觉交互[14-15]和触感震动交互[16-17]。其中，听觉交互应用最为广泛。视障用户在生活中与环境的交互极为依赖听觉感官，听觉交互可以为视障用户传递丰富的描述性信息。然而，以语音交互与乐音交互为代表的听觉交互在承担导向指引任务时具有明显局限：（1）信息传递延时，语音交互与乐音交互的信息传递和解析过程具有延时性，难以胜任对指令变化实时反馈要求较高的导向任务；（2）效率较低，描述性的语音交互与编码型的乐音交互都不便于及时反馈不断微调的指令

变化，且较易产生歧义；（3）信道独占，听觉信道被占用，则难以同时处理其他听觉信息；（4）面向结果，语音指令直接指向行为结果，往往无法在执行过程中充分实时引导[18]。

近年来，以触感震动为主要交互方式的导向设计由于能够基本解决语音交互方式的问题，受到了相关学者的重视。相较听觉交互，触感震动导向具有即时反馈、效率较高、信道互扰低、面向过程的优点。然而，该交互方式仍存在以下不足：（1）导向方向离散化：大多方案采用 3~5 个触感震动传感器，即在移动过程中仅能引导 3~5 个独立的方向；（2）相邻震动触点区分度低，导向理解易模糊：佐治亚理工 Zeagler 团队的研究表明，人体对于触感压感的定点辨识能力较低，除一般不被可穿戴设备占用的手指外，即便最灵敏的腕部也很难分辨距离为厘米级别的临近点触压[12]；（3）能耗高且易损坏：震动马达随脉冲指令依次唤醒和震动，相较普通传动装置其能耗较高且相对易损坏[19]。

为寻找传统触感震动交互的替代品，Pfeiffer 等人量化对比了基于肌电刺激和基于触感震动的交互方法，并指出前者在实验中具有显著优势[20]，同时也指出肌电刺激交互方法还不成熟。因此，本研究采用可用性视角下较成熟的区域触感交互方式，即通过滑动激活区域皮肤感受器的方式，在不增加用户额外感知负担和降低定位辨识度的前提下，取代仅依赖固定点皮肤感受器的传统压感或震动触感交互。该方案的优势如下：（1）导向实时连续，相较听觉和触感震动的离散型导向，连续触感在引导范围内，不间断地向用户提供任意角度的方向指引，其引导信息随用户的移动方向发生实时的变化；（2）导向直观易读，产品能够灵敏感知用户移动方向与其指引方向的差异，并根据差异实时调整导向信息，使用户容易理解；（3）导向转换过程简单，用户通过转动身体调整触感触点的位置，使触点回归至触感量程中间，即可实现有效导向，用户身体感知与转向行为的转化过程可以得到极大简化。

5　连续触感引导的导盲导向产品设计实例

在导盲导向产品设计情境中，为满足导向准确直观、产品质轻便携的导向服务需求，实现向视障用户提供自然流畅的导向服务目标，研究基于具身认知理论，将触觉作为导向感知通道，利用目标用户在大脑中对空间、方位、方向的理解和自身的移动行为的认识，以及人体体表触感的两点判别敏感度，提出不同的可穿戴式连续触感导向设计方案。

5.1　导盲手套的设计

依据人体体表触感的敏感程度，该设计方案围绕皮肤两点判别敏感度较高的掌心展开，导盲手套设计方案见图 2。以导盲手套为可穿戴载体，采用连续引导的传动触感作为交互手段，以连贯、高效地引导用户移动。导盲手套的掌心部分包括触压指针及电器元件，为连续导向指引的实现提供了技术基础。同时，该设计方案充分考虑用户佩戴设备时对产品舒适感的需求，整体采用亲肤柔性材料，且手腕部配有软贴合，能增进手套与掌部的贴合度。

导盲手套的导向首先基于导盲系统的计算机视觉和传感数据分析得出应转方向和角度，而后通过手套的电器元件控制触压指针向相应的方向旋转一定的角度。导盲手套触压指针引导用户转向示例见图 3，红星表示导向产品拟指引的目标方向。系统通过智能分析得出应右转一定角度后，导盲手套可利用电器元件控制触压指针指向手心小指根部，如图 3 左，引导用户向右转动；在转向过程中，触压指针随着用户转向而调整指向，如图 3 中，用户已少量右转，触压指针指向无名指根部附近，表示用户还应继续右转；当用户已转向充分，触压指针即指向中指根部附近，表示用户已完成当前转向任务，可执行下一步指令，如图 3 右。在整个导向过程中，触压指针的滑转是连贯的、非断续的，指针随着用户的转向角度和前进步伐实时调整指向角度；指针以指向中指正前方为基准线，通过指针的滑转，引导用户不断调整方向角度以将指针回归基准线，从而实现导向功能。

图 2　导盲手套设计方案
Fig.2　Guiding gloves design scheme

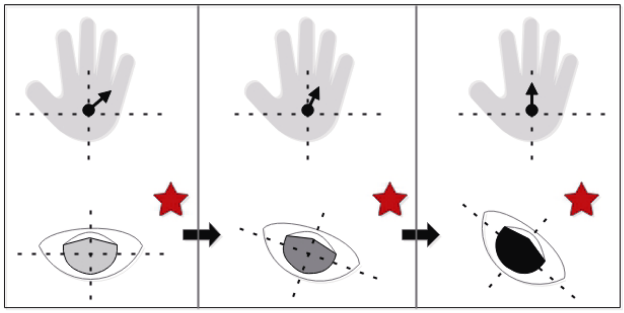


图 3　导盲手套触压指针引导用户转向示例
Fig.3　Example: the touch pointer of a guiding gloves guides the user to turn

5.2 导盲手环的设计

考虑到在使用过程中，导盲手套占用掌心，可能对视障用户的正常活动造成不便的问题，研究提出导盲手环的设计方案。该方案沿用以连续引导的触感传动为交互手段的设计核心，结合用户的生活习惯、可穿戴舒适度和简约轻便的情感体验意向[21]，选取人体两点判别敏感度较高的腕部作为交互部位，并以导盲手环为可穿戴载体，导盲手环设计方案见图 4。由于手环的体积小，触压指针活动空间有限且易受损，设计采用触压滚珠提供连续导向，来向用户提供实时、准确的导向信息。导盲手环引导用户转向的方式与上文导盲手套相似，当触压滚珠在手腕背部向左或向右滑动某一角度时，则表示用户应向左或向右转动相应角度；当触压滚珠处于手腕背部中央时，则表示用户已转向充分，可执行下一步指令。

5.3 导盲腰带的设计

导盲腰带以人体两点判别敏感度适中的腹部为交互作用部位，导盲腰带设计方案见图 5，结合用户自身经验和腰腹接收到的触压刺激，为用户提供连续的导向信息。腰腹部力量较强，可以为产品的必要配件和电源提供足够的空间和力量支撑，此外，考虑到腹部的脂肪厚度会影响触压交互效果，方案中增设压力调节功能，以适应用户的触压感需求。该设计同样采用以连续引导的触感传动为交互手段的触压滚珠导向，向用户提供连续、精准方向指引。导盲腰带引导用户转向的方式与上述两个方案的导向方式相似，当触压滚珠在腹部前方向左或向右滑动某一角度时，则表示用户应向左或向右转动相应角度；当触压滚珠处于腹部前方中央时，则表示用户已转向充分，可执行下一步指令。

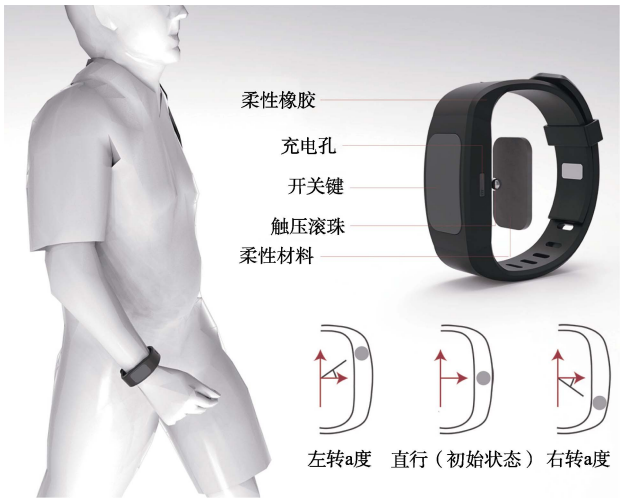


图 4 导盲手环设计方案
Fig.4 Guiding bracelet design scheme

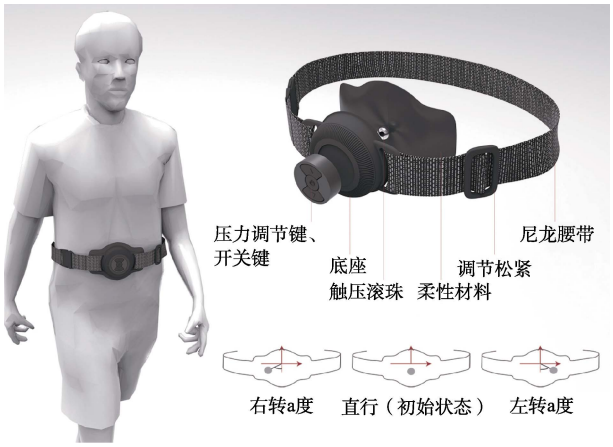


图 5 导盲腰带设计方案
Fig.5 Guiding belt design scheme

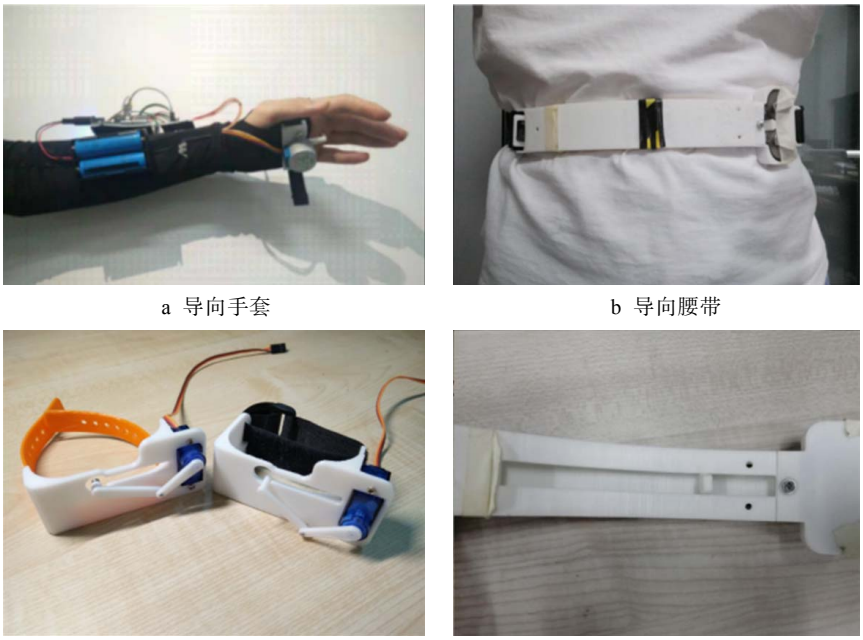
6 设计原型验证

6.1 验证方法及结果

为测试 3 种设计方案的导向能力，本研究采用 3D 打印技术快速导出方案实物原型，导向概念功能原型见图 6，并对相应概念功能原型展开导向单元测试。实验方法：（1）3 名蒙眼被试分别感知 3 种导向产品原型提供的转向触感刺激，每位被试需要对每个方案原型进行 5 组，每组 10 次的连续触感导向实验；（2）在实验过程中，观察员记录被试者感知到的转向反馈；（3）在各方案实验结束后，观察员访谈和记录被试者的实验反馈；（4）通过对比被试者感知方向特征 ROC（Receiver Operating Characteristic），及感知方向与预设导向的差异度，验证导向方案的有效性。本次实验为被试者提供了左（逆时针）、偏左、直行、偏右、右（顺时针）的 5 种转向。

研究主要从被试者感知方向的正确性，及其与预设导向的同向性、差异度综合评价导向产品方案的有效性。被试者方向反馈的正确性关注被试者通过佩戴测试原型可以正确感知触感导向的情况，A 组导向手套、B 组导向手环、C 组导向腰带的触感导向与被试者感知方向见图 7，黑色方块和红色圆圈分别表示触感导向与被试者方向反馈。A、B、C 组依次表示使用导盲手套、手环、腰带 3 种导向设计原型产品。每组的各行依次对应 3 位被试者的测试数据。在测试中，A 组被试者在 44.7%的情况下可以给出正确的方向反馈；B 组被试者在 62%的情况下可以给出正确的方向反馈；C 组被试者在 85.3%的情况下可以给出正确的方向反馈。

被试者感知方向与预设导向的同向性强调在导向过程中被试者根据连续触感指引做出的方向反馈应时刻与触感导向的方向相同。例如，较大顺时针转角的预设导向，可以通过长时间、较小的同向转角连续指引被试者实现，而不应通过逆时针转角实现。在测试中，有 25.2%的 A 组被试者感知到的方向与预设导向相反；而 B 组和 C 组分别为 9.6%和 0.7%。



a 导向手套　　b 导向腰带

c 导向手环　　d 导向腰带背面滑动触点

图 6　导向概念功能原型

Fig.6　Functional prototype of guiding concept

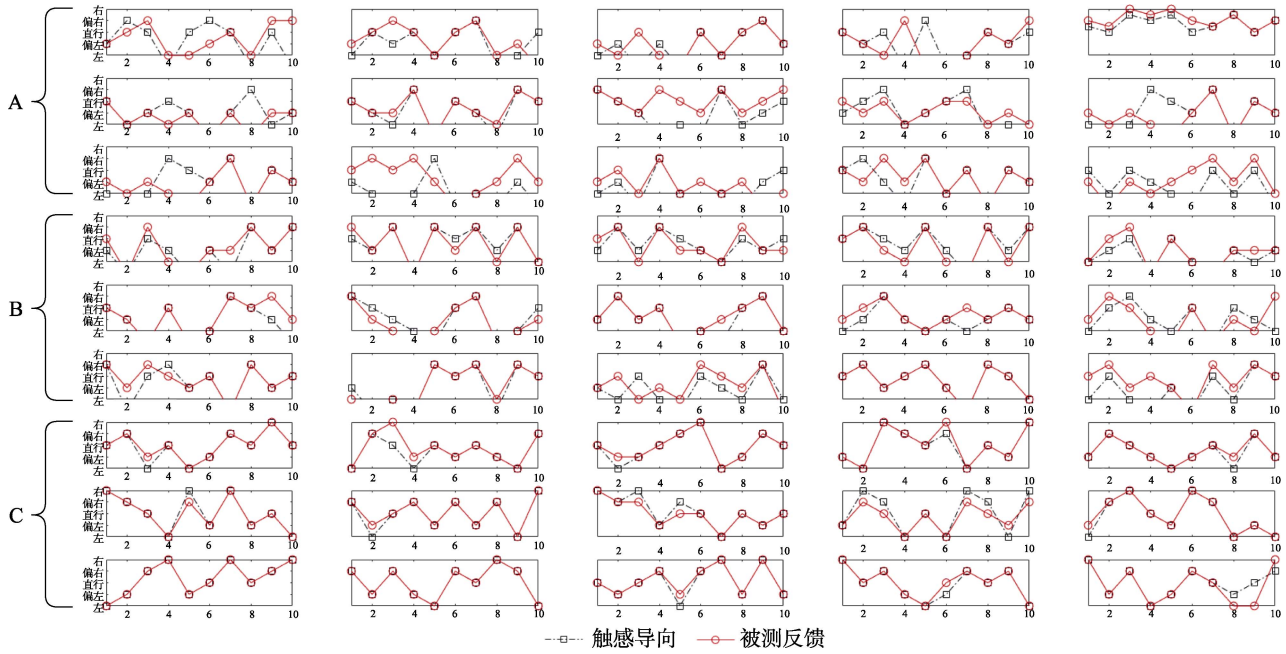


图 7　A 组导向手套、B 组导向手环、C 组导向腰带的触感导向与被试者感知方向

Fig.7　The tactile guidance and the perception direction of the subjects of guiding gloves (group A), guiding bracelet (group B) and guiding belt (group C)

被试者感知方向与预设导向的差异度指被试者感知的指引方向与触感导向之间存在偏差的大小，A 组导向手套、B 组导向手环、C 组导向腰带的被试感知方向与预设导向的差异度见图 8，A 组中差异较大（偏差不小于 2）、差异较小的比例分别为 22.7%、32.7%；B 组中 7.3%、30.7%；C 组中 1.3%、13.3%。

6.2　结果分析与讨论

实验结果显示，导盲腰带的导向有效性最佳，导盲手环其次，导盲腰带相对于其他两种方案的导向有效性有待提高。在实验过程中发现，虽然导盲手套具有一定的导向作用，但是未经过训练的新手用户在使用过程中容易造成方向误判；导盲手环较手套具有更好的导向性能，方向误判的现象有所减少，尤其是用户将引导方向判断成反方向的误判次数大幅度减少；导盲腰带进一步减少了方向误判的情况，几乎消除了用户将引导方向判断为反方向的情况。对于导向来说，在转角上的误差可以通过时间的叠加来修正，大

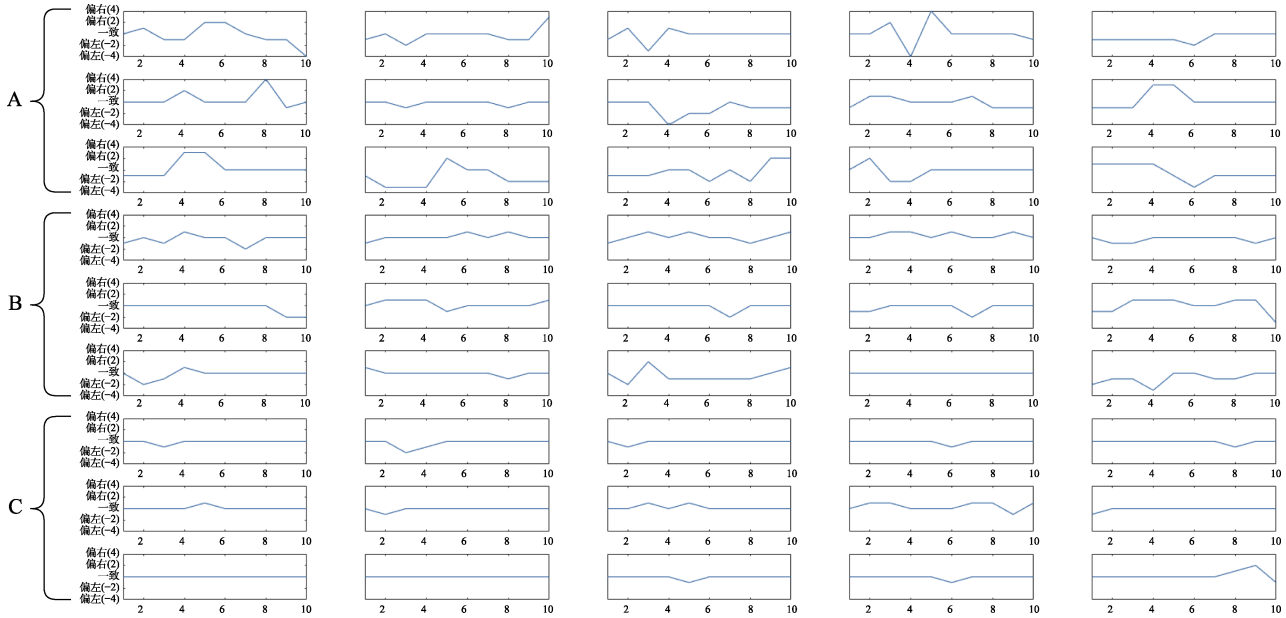


图 8 A 组导向手套、B 组导向手环、C 组导向腰带的被试感知方向与预设导向的差异度

Fig.8 The degree of difference between the perception direction of the subjects and the tactile guidance regarding guiding gloves, guiding bracelet and guiding belt

的转角可以通过长时间的较小转角累加来实现。综合被试者的使用反馈，导盲腰带性能较好的原因主要有：（1）腰部的触感量程远远大于腕部和掌部，尽管腰部皮肤对于触感的反馈敏感度较低，但较大的量程使得人体感知的触感具有更好的辨识度；（2）导盲产品触感量程的中点极为重要，用户需要经常以“复位”的形式感知中点，即通过身体转向的变化，实时感知滑动滚珠的位置，进而明确导向中的“正前方”，导盲腰带不占用双手，用户能够更自然的持续感知滑动滚珠的“复位”状态，在触感不明显时，也可通过主动按压腰带来确保接触点的压强；（3）连续滑动的接触方式容易表达导向变化的趋势，而这一滑动动作刺激腰部更为明显。

7 结语

现阶段，围绕导盲系统的设计还停留在实现功能、提供服务的基础层面。研究以导盲导向产品设计为例，应用具身认知理论，协同导向情景、触觉感知和转向行为以促进视障用户形成较为清晰的空间认知，提出连续触感导向的设计构想，并通过 3D 打印产出实物模型，进而实验验证设计方案的有效性与准确性。通过实验结果对比与分析发现，导盲腰带的设计方案不仅有效克服了当前导向产品导向信息离散、导向指令解析复杂、使用过程不流畅等问题，还能够实时、连续地为用户提供移动导向指引，同时佩戴舒适，认知转换负担极低，且不会影响视障用户的日常生活。在该研究中，连续触感引导的导向方式为导盲产品的人机信息传递提供了新的技术思路，具有实用、廉价和可扩展等优势，可应用于通用导盲系统中导向附件的科技研发，实现为视障人士提供高效流畅出行的科技服务目标。

参考文献：

[1] 王冠生，郑江华，瓦哈甫·哈力克，等. 盲人导航/路径诱导辅具研究与应用综述[J]. 计算机应用与软件，2012, 29(12): 147-151.
WANG Guan-sheng, ZHENG Jiang-hua, Wahav Harrick, et al. Overview on Research and Application of Navigation/ Route Guidance Assistive Devices for the Blind[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(12): 147-151.

[2] Dakopoulos D, Bourbakis N G. Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids for Blind: A Survey[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 2010, 40(1): 25-35.

[3] Islam M M, Sadi M S, Zamli K Z, et al. Developing Walking Assistants for Visually Impaired People: A Review[J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 19(8): 2814-2828.

[4] Xiaochen Zhang, Xiaoyu Yao, Yi Zhu, et al. An ARCore Based User Centric Assistive Navigation System for Visually Impaired People[J]. Applied Sciences, 2019, 9(5): 104.

[5] 何灿群，吕晨晨. 具身认知视角下的无意识设计[J]. 包装工程, 2020, 41(8): 80-86.
HE Can-qun, LYV Chen-chen. Unconscious Design from the Perspective of Embodied Cognition[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(8): 80-86.

[6] 黎晓丹，叶浩生，丁道群. 通过身体动作理解人与环境：具身的社会认知[J]. 心理学探新，2018，38(1): 20-24.

LI Xiao-dan, YE Hao-sheng, DING Dao-qun. Understanding by Action: A Prospect of Embodied Social Cognition[J]. Psychological Exploration, 2018, 38(1): 20-24.

[7] 李芳宇, 周乐. 具身认知视角下的乡村儿童教育产品设计探究[J]. 包装工程, 2020, 41(16): 154-163.
LI Fang-yu, ZHOU Le. Rural Children's Educational Product Design from the Perspective of Embodied Cognition[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(16): 154-163.

[8] 叶浩生. 具身认知: 认知心理学的新取向[J]. 心理科学进展, 2010, 18(5): 705-710.
YE Hao-sheng. Embodied Cognition: A New Orientation of Cognitive Psychology[J]. Advances in Psychological Science, 2010, 18(5): 705-710.

[9] 王秀丽, 蒋晓, 赵丹琳, 等. 基于具身认知的儿童智能玩具交互设计研究[J]. 包装工程, 2019, 40(16): 165-170.
WANG Xiu-li, JIANG Xiao, ZHAO Dan-lin, et al. Interaction Design of Children's Smart Toy Based on Embodied Cognition[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(16): 154-163.

[10] 唐林涛. 设计中的"身体—意识"[J]. 包装工程, 2019, 40(20): 1-8.
TANG Lin-tao. Body-Consciousness in the Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(20): 1-8.

[11] Mendoza J E. Encyclopedia of Clinical Neuropsychology[M]. NY: Springer New York, 2011.

[12] Zeagler C. Where to Wear it: Functional, Technical, and Social Considerations in on-body Location for Wearable Technology 20 Years of Designing for Wearability[C]. Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers: ACM, 2017.

[13] S Bhatlawande, M Mahadevappa, J Mukherjee, et al. Design, Development, and Clinical Evaluation of the Electronic Mobility Cane for Vision Rehabilitation[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2014, 22(6): 1148-1159.

[14] Bai J, Lian S, Liu Z, et al. Virtual-blind-road Following-based Wearable Navigation Device for Blind People [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2018, 64(1): 136-143.

[15] Bujacz M, Strumiłło P. Sonification: Review of Auditory Display Solutions in Electronic Travel Aids for the Blind[J]. Archives of Acoustics, 2016, 41(3): 401-414.

[16] Cosgun A, Sisbot E A, Christensen H I. Guidance for Human Navigation Using a Vibro-tactile Belt Interface and Robot-like Motion Planning[C]. 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA): IEEE, 2014.

[17] Mancini A, Frontoni E, Zingaretti P. Mechatronic System to Help Visually Impaired Users During Walking and Running[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(2): 649-660.

[18] Zhang X, Yao X, Zhu Y, et al. An ARCore Based User Centric Assistive Navigation System for Visually Impaired People[J]. Applied Sciences, 2019, 9(5): 989.

[19] Zhang X, Zhang H, Zhang L, et al. Double-Diamond Model-Based Orientation Guidance in Wearable Human-Machine Navigation Systems for Blind and Visually Impaired People[J]. Sensors, 2019, 19(21): 4670.

[20] Pfeiffer M, Schneegass S, Alt F, et al. Let Me Grab This: A Comparison of EMS and Vibration for Haptic Feedback in Free-hand Interaction[C]. Kobe: Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, 2014.

[21] 胡新明, 王剑, 徐晓莉. 基于感性工学的盲人阅读器设计研究[J]. 机械设计, 2016, 33(5): 121-124.
HU Xin-ming, WANG Jian, XU Xiao-li. Reader Design for the Blind Person Based on Kansei Engineering[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(5): 121-124.