

盲人导航/路径诱导辅具研究与应用综述

王冠生 郑江华* 瓦哈甫·哈力克 张 洋 姚聚慧

(新疆大学资源与环境科学学院 新疆 乌鲁木齐 830046)
(新疆大学绿洲生态教育部重点实验室 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要 在高度信息化时代,盲人导航/路径诱导辅具已经成为盲人生活中的一部分,关系到盲人生活质量的好坏,体现了社会文明程度的高低。首先对盲人导航/路径诱导辅具总体情况进行了概述;然后基于结构特征进行分类,并分别介绍了电子式行进辅具、移动式导盲机器人、智能盲杖以及智能导盲系统等辅具的历史发展、应用现状;最后指出了今后的发展趋势以及存在的问题。从现时导盲研究工作表明,研制开发更具人性化更适合于盲人导航/路径诱导的辅助工具具有重要的实用价值和社会现实意义。

关键词 盲人 导航 路径诱导 辅具 综述

中图分类号 TP249 TN966 文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2012.12.041

OVERVIEW ON RESEARCH AND APPLICATION OF NAVIGATION/ROUTE GUIDANCE ASSISTIVE DEVICES FOR THE BLIND

Wang Guansheng Zheng Jianghua* Wahap Halik Zhang Yang Yao Juhui

(College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)
(Key Laboratory of the Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract In the era of high informatisation, the navigation/route guidance assistive devices for the blinds have become a part of the life for them. It relates to the quality of the life of the blinds and reflects the level of social civilisation. In this paper, first we outline the general situation of navigation/route guidance assistive devices for the blinds. Then we carry out the classification based on structural characteristics and introduce respectively the historical development and application status of the assistive devices such as electronic travel aids, mobile guide robot, intelligent blind cane, intelligent blind guiding system, etc. At last, we point out their development trends in the future and the problems existed. Current research work on blind navigation shows that it has the important practical value and social reality significance to develop the assistive devices which are much humanised and more suitable to the navigation/route guidance for the blinds.

Keywords The blind Navigation Route guidance Assistive device Overview

0 引言

根据世界卫生组织(WHO)和《2006 年中国第二次残疾人调查资料》统计数据显示,中国约有 1233 万盲人,是全世界盲人最多的国家,占整个世界盲人数的 20%^[1],并且以每年 45 万的速度增加。在平常的生活中,我们 80% 以上的信息是通过视觉获得的^[2],盲人则一直生活在黑暗的世界中,视力的缺失导致生活、学习、工作上莫大的困难。作为社会上一类特殊群体,需要给予更多关怀和照顾,如何让他们能够更安全地独立行走,是盲人生活中最大问题之一。随着经济发展、科技进步和社会文明程度的不断提高,这一特殊群体的出行问题越来越受到世界各国的关注和重视。为了提高社会对他们的关怀程度和救助水平,研制开发更具人性化更适合于盲人路径诱导的辅助工具具

有重要的实用价值和社会现实意义。

1 盲人导航/路径诱导辅具概述

盲人在行走过程中常常要借助第三方辅具的帮助,如盲杖、导盲犬、盲道、导盲设备等。在现实生活中盲杖作为行走辅助工具一直以来被广泛采用,但由于行动上的诸多受限使得使用者面临很大挑战^[3],就因为它的设计简单、使用方便,大多数盲人仍依赖盲杖摸索前行;单纯从导盲功能来看,虽然导盲犬是引导

收稿日期:2012-02-26。国家自然科学基金项目(40801058);新疆大学 SRT 重点项目(XJU-SRT-Z11019)。王冠生,硕士,主研领域:导航位置服务,GIS 技术,计算机技术。郑江华,副教授。瓦哈甫·哈力克,教授。张洋,硕士生。姚聚慧,本科生。

盲人行走的不错选择,能够听懂主人发出的多种口令,理解盲人的简单意图,能够将盲人顺利带到目的地,但它不能规划线路或者在一条陌生的路线上引领盲人到达指定地点,同时训练的不易、耗时及成本高昂等原因限制了导盲犬的普及^[4];目前许多国家为盲人配备了基本的盲道和语音提示装置等导盲设施,但可以提供信息非常有限。针对盲人出行难的问题,除了传统的盲杖和导盲犬,多国学者致力于导盲设备的研究工作,并取得了巨大进展,如已开发成功的电子式行进辅具^[5-14]、导盲机器人^[15-21]、智能盲杖^[22-30]以及嵌入式智能导盲系统^[31-36]等等各式各样的导盲系统和装置。

盲人导航/路径诱导辅具是以用户为中心系统通过处理加工采集的环境信息并以盲人可以接受的形式(声音、触觉以及二者的集成等)传达给盲人,实现路径诱导。功能模块如图1^[14]所示。

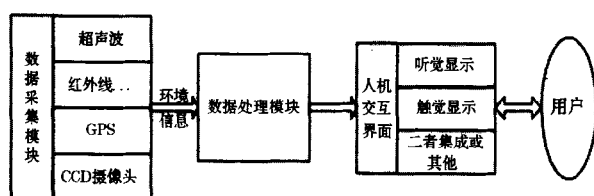


图1 功能模块图

2 盲人导航/路径诱导辅具研究与应用现状

就世界各国目前已经研制的多种盲人辅助路径诱导工具来看,从结构简单的电子式行进辅具到较为复杂的导盲机器人再到目前较为便捷实用的智能盲杖类,特别是近年来越来越人性化的导盲系统的研发以及它们的集成使用无异于给盲人带来第二双“眼睛”,使盲人同样可以地享受到数字化带来的便利,生活质量得到较大提高。

2.1 电子式行进辅具

电子式行进辅具 ETA (Electronic Travel Aids) 的工作原理,或是类似雷达信号检测,通过声波或光来得到障碍物和环境的相关信息;或是通过采集环境图像信息,通过视频图像处理,检测障碍物。从上个世纪 60 年代开始,一些研究人员开始研制用于辅助盲人行走的电子辅助工具。1965 年, Russell Pathsounder 是最早使用的 ETA^[5],该装置是一种基于超声测距的导盲仪,利用超声传感器能够粗略的获取障碍物的位置。Binaural Sonic Aid (Sonicguide)^[6]完成于 1974 年,其外型类似于一个眼镜框,超声发射器和两个超声波接收器分别安放在镜架的中央及两侧,接收到的信号经过频移,分别传入两耳。使用者根据传入两耳之间的声音强度差,可以判断出障碍物的方向。1989 年美国密西根大学研制的 NavBel^[7]设备等主要是通过超声传感器单一片面地检测到障碍物信息,利用声音或触觉提示用户通过“黑暗”环境。

随着电子计算机和图像处理技术的不断进步,新式电子导盲仪得到了极大地发展。1992 年荷兰埃因霍温飞利浦研究实验室的物理学家 Meijer 完成的头盔式盲人导航系统 vOICe^[8],将摄像机采集的图像扫描并数字化转换成声音,图像的 X 坐标转换为时间, Y 坐标相当于声音的频率,图像的灰度值转换成声

音的大小。2000 年 John Zelek 等^[9]研制了穿戴式“立体视觉”原型系统,在塑料或轻金属平台上集成便携式电脑及两个照相机并连接触觉手套,手就像一幅地图,每个手指代表一个方向(例如,中指为正前方)。利用穿戴式平台上左右两个照相机的图像处理深度图,然后与触觉手套进行信息交互。在超声等传感器之后,图像处理技术成熟起来,逐步用于导盲领域,并可以解译出环境信息,虽然是非常有限的,不能体现出具体的距离远近,但使盲人欣慰的是终于可以“看到”环境信息了。

特别是近几年来, GPS (全球定位系统) 技术、RFID (射频识别) 技术、红外线定位、Bluetooth 等技术快速发展并相继涌入进一步壮大了电子式行进辅具领域,呈现多传感器集成、多样式展示。2007 年 Jeff Wilson 等^[10]研制了 SWAN 装置,包括一个便携式电脑、手持触觉输入设备、语音处理器、语音输出设备以及路径定位追踪模块,室外用 GPS、数字罗盘定位,室内用照相机及 RFID 标签定位,具有规划路径和常用路径存储功能。2010 年 Aura Ganz 等^[11]开发的 INSIGHT 导盲系统,包括拥有蓝牙功能、RFID 阅读功能的 PDA 客服端和提供建筑物信息的 INSIGHT 服务器端, PDA 客服端通过蓝牙功能检测和追踪 RFID 标签,并与 INSIGHT 服务器进行实时通信,获取导航信息。2011 年 Shang Wenqin^[12]、 Danilo C'aceres Hern'andez^[13]等更进一步完善了图像处理与传感器集成使用导盲研究。由时下导盲工具便知,在传感器、图像处理的基础上与 GPS、RFID 等技术集成使用,获取周围环境信息的同时,又能读取障碍物位置距离等更全面环境信息,并能够人机交互,更具智能化、更具人性化。

虽然此类设备结构比较简单、便于携带,发展势头强劲,但其普及程度和应用并不是很理想^[14]。原因就是有的功能单一,有的人机界面需要长期学习,有的结构复杂、价格昂贵,使该工具的普及应用受到一定的限制。

2.2 移动式导盲机器人

导盲机器人属于服务型机器人范畴,是为视觉障碍者或盲人提供环境导引的辅助工具,通过多种传感器对周围环境进行探测,将探测的环境信息反馈给用户,以便用来弥补他们视觉信息的缺失。移动式导盲机器人作为新生的计算机控制领域中的最年轻一代,国内外不少专家和实验室致力于从事该方面的工作。

真正意义的机器人是 1962 年美国研制成功 PUMA 通用示教再现型机器人,从 80 年代开始,机器人的一些应用逐步从工业上扩展到了服务行业。随着 90 年代机器人定位和避障功能的大幅提升,为机器人应用到盲人导航领域打下坚实基础。1994 年美国密西根大学机器人实验室研发成功的辅助性轮椅导航系统 NavChair^[15]。它将电动轮椅与智能机器人技术集成应用,可以进行自主导航,由传感器检测并能有效避开障碍物。2003 年美国匹兹堡大学的 Rentschler^[16]等人研制出一款行动辅助装置 VA-PAMAID (Veterans Affairs Personal Adaptive Mobility Aid),利用其前方和两侧的安装的超声传感器,对前方和两侧的环境进行探测。由于装置的上方有两个类似自行车把的扶手,盲人在使用的过程中能够保持较高的稳定性。但是该装置体积较大,使用起来多有不便。2004 年日本山梨大学研制了一种智能手推车 ROTA (Robotic Travel Aid)^[17],该款小车高 1m,重 60kg,配备视觉传感器和声音传感器,能够识别路标、交通信号灯等,并引导盲人穿过马路,遇到问题会与服务中心取得联系。随着机器人技术和传感器检测定位技术的发展,以及它们的集成使用为盲人带来了新的福音,能够检测障碍物信息并进行有

效路径诱导,但这些器具使用起来有众多不便之处(如上下楼梯、体积笨重等)而且造价也相当昂贵,不适合普通消费者。

近年来,人们对机器人的需求转移到为人类生活服务上,为导盲机器人提供了新的契机。2010 年 K. Yelamarthi 等人^[18]研制了基于 RFID 和 GPS 的智能机器人原型机,可以进行室内外导航,利用超声波和红外进行避障,利用语音和触觉手套进行交互达到导航目的。2011 年 Chen Feng 等^[19]进一步对三轮移动机器人研究,利用多自由度机器人力传感器或弹性材料的天线,获取机器人与墙壁或障碍物的相互作用力信息。不受限于光线和环境,能够完成障碍物检测、自我定向、路径规划,对已经存在的方法是一个很好的补充;接着 Genci Capi^[20]、郝矿荣^[21]进一步把日益成熟的图像处理技术和传感器技术集成在智能机器人上,进行深入研究能够有效到达壁障导航目的。逐渐解决了检测台阶、楼梯问题,识别出了交通信号灯、导盲线和障碍物等道路上的常见物体并实时反馈不同路况信息,进行有效的路径导航。在导盲机器人方面,从刚开始的单传感器到多传感器再到图像处理以及 RFID 和 GPS 引入和它们的集成使用,从简单、片面性的知道障碍物的位置信息到较为全面的“看到”环境信息,从此盲人眼中的世界不再一直是黑暗无边了。

移动式机器人功能更完善、强大,更加智能化,但是由于它的结构过于复杂,体积、重量一般较大,在坡地、台阶或有障碍物阻挡等复杂地形行走相当困难,并且硬件和开发成本高,不易广泛推广。

2.3 智能手杖类

在众多的导盲辅助工具中,使用最广泛的是白色手杖,在上面集成一组传感器、小型控制计算机等,有的甚至装有导轮移动平台,具有一定智能性。它可以看作将移动机器人的动力系统移除,保留了智能检测部分,便成了人们经常提到的用于盲人导航方面的智能手杖。

自 20 世纪 60 年代末,激光、超声等定位技术从技术上推动了手杖智能化的发展。1967 年 Bolgiano D 等^[22]把激光传感器集成到手杖上研制了激光导盲手杖。1986 年 Bo N. Schenkman 等^[23]把回声定位技术应用到手杖进行物体定位和检测。美国密执安大学移动机器人实验室的科技人员于 1995 年在 Nav-Belt^[7]基础上提出了 GuideCane^[24,25]的概念,GuideCane 的外形类似一种立式吸尘器或一台割草机,这种引导手杖由手柄、机架和车轮组成。使用时,用户握住手柄并推动 GuideCane 行走。通过手柄上的微型控制杆来设定行走方向。根据超声传感器获得信息,再运用 VFH (Vector Field Histogram) 技术,由计算机产生周围环境的虚拟信息,通过电机装置控制转向轮的方向,从而进行路径诱导。最初的智能手杖主要智能就在于能够利用某一种或多种传感器检测到障碍物位置,并进行有效地避开障碍物。虽然检测能力有限,但对于当时代的盲人朋友来说,无异于增加了一双眼睛,看到了黑暗中的一线光明。

2000 年 Dubowsky 等人研发的 PAMM^[26] (Personal Aid for Mobility and Monitoring) 系统,主要是针对视障者和老年人的行动辅助需求设计的,具有视障者的引导和障碍物的探测功能。2007 年 J. A. Hesch 等^[27]研制了便携式盲杖雏形,该设备包括计步器和一个标准白色手杖,集成在拐杖上的激光测距机和一个三轴陀螺仪用来判断手杖姿势,内置在鞋子里的计步器用于计算用户的行走速度。两层扩展卡尔曼滤波(EKF)用于测量和

提供用户的姿态和方位判断,可以粗略地进行位置导航。2010 年 Ye Cang 等^[28]在手杖上集成包括 3D 图像传感器单元和用于图像采集和处理的掌上电脑的手持导航设备,利用 3D 图像传感器获取图像传递给电脑设备,然后进行分析重组三维场景,通过蓝牙耳机以及震动的方式进行避障和路径诱导。Takafumi Lenaga 等^[29]利用累计网格地图和音梯度技术,在手杖上集成的 RFID 识别器识别标签,通过 GIS 数据库检索,达到定位与导航。方仁杰等^[30]研制的基于 GPS 与超声波导盲拐杖,是利用超声波测障、语音提示进行路径诱导达到导盲的目的。从而在只有传感器的基础上,集成图像处理、RFID 和 GPS 等技术,使智能手杖更加智能化、更加人性化。

智能手杖在心理层面上可以给予盲人较大的依赖感与安全感,又能及时地识别周围障碍物并发出警报(声音或震动)信号,同时既轻巧,又便宜,在盲人的手中定会为盲人的生活提供极大的便利。但在使用过程中,需要不停地探测,用户必须经过长期的训练才能够熟练地使用。

2.4 智能导盲系统

进入新世纪,微型计算机和智能终端的快速发展和广泛应用,为导盲系统的新发展提供了软硬件支持,图像处理、RFID 和 GPS 技术日益成熟为其顺利实现提供了技术保证。虽然电子式行进辅具、导盲机器人、智能盲杖等都需要一定的软件系统支持,但它们具有一定的针对性,移植性较差。而对于智能导盲系统来说,智能终端具有大众性,可以批量使用安装,随着技术进一步发展,可以跨平台使用,跨操作系统运行,更具市场潜力。

射频识别 RFID 技术广泛应用,为一定区域内或固定通道上划上了希望的光源,为盲人的出行提供道路等信息。利用智能终端内置相机、蓝牙、罗盘、计步器等对目标条码进行识别,根据数据库存储对应标签信息,语音提示导航^[31]。结合全球卫星定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)技术应用也较为火爆,在智能终端显示有效地图,根据起点、终点位置信息进行规划路径,并在地图上显示预规划路径信息,通过获取当前实时位置及相邻节点位置,进行判断导航^[32,33]。2006 年 J. Coughlan 等^[34]开发研制了基于诺基亚 7610 手机导盲系统,利用手机内置相机对室内预设的带有颜色的目标条码进行识别,通过语音提示进行定位导航。2010 年 Peng En 等人^[35]利用内置相机实时获取环境图像信息,通过分析、处理进行障碍物识别,达到避障目的研究。2011 年 Rayoung Yang 等^[36]开发了 TP3 导盲系统,手机集成的 GPS、WiFi、罗盘判断用户的位置和方向,并与数据库检索信息交互,通过语音读出一定范围内存在的兴趣点以及距离,等待。这一智能导盲系统主要都是以手机内置相机、蓝牙、罗盘、计步器等以及集成 RFID 和 GPS 技术基础研制,随着智能终端的高端化,能够承受较大存储、多技术集成开发,随之智能导盲系统功能也越趋强大。

该类智能导盲系统开发简单、易于移植、成本低,能人机交互,具有一定的智能性。近年来发展十分迅速,但区域性强、功能不够健全,(如:GPS 只适合室外导航;RFID 一般用于小范围内或固定的道路上,并且要发费很大的财力物力;避障功能较弱等)有待完善。

2.5 主流产品信息

盲人导航/路径诱导辅具大多还处在实验室阶段的开发和测试中,进入市场的部分主流厂商、产品及价格比较信息如表 1 所示。

表 1 主流产品信息

主流厂商	产品名称	主要功能	价格	备注(图片)
Bay Advanced Technologies Ltd(新西兰)	K-SONAR 电子导盲犬	利用声波原理,能告知物体的 距离、物体的方位及识别物体 的性质。	710.00 美元	
Kapsys (法国)	KAPTEN PLUS (电子设备)	基于声音输入输出设备, 利用 GPS 实时检测信息判断位 置,结合城市交通提供步行、 自行车、汽车三种导航模式, 并可进行路线记录和回放等。	475.00 美元	
Humanware (加拿大)	Ultracane Sonic Mobility Aid (声波拐杖)	利用超声波检测周围(包括头 顶)障碍物,以震动形式提醒。	1080.00 美元	
HIMS (美国)	SenseNav (智能导盲软件)	GPS 实时信息和地图数据相 结合,进行兴趣点(餐馆、酒店、 医院等)提示。	1549.00 美元	软件类, 仅在美国销售。
中国导盲犬 大连培训基地	导盲犬	帮助视障盲人日常生活, 也可以带领盲人安全地走路。	培训费 RMB10-15 万 元	
高斯贝尔 数码科技 (中国)	GAS1 多功能盲人手 机	全国盲款盲人机,全程语音播 报,GPS 免费定位,手机里自 带的盲人六笔输入法,亲情号 码紧急呼叫功能,一键呼叫。	RMB840.00 (淘宝网提供)	

能够帮助行走中的盲人获取道路方向和障碍物位置以及需要注意的路况信息,对导盲设备的功能和外形上一直在不断地改进,更具人性化,更易于盲人用户接受。盲人导航/路径诱导技术的研究与发展,不仅能说明一个社会的经济发展状况,更能体现社会的文明程度,具有非常重要使用价值和现实意义。

3 盲人导航/路径诱导辅具发展趋势

根据盲人导航/路径诱导辅具所具有的功能特点和人机交互方面出发,可以归结为三个阶段,见表 2 所示。

表 2 三个阶段典型性辅具列举

年代	主要所选传感器类型	技术特点(主要功能描述)	典型性辅具(时间)	主要存在的问题
20 世纪 70 年代—20 世纪 90 年代	超声波、激光、红外等传感器或传感器阵列	根据传感器发射光波信号的时差判断障碍物的位置和距离,获取环境的局部信息,并以警报信息提醒。	Russell Pathfinder(1965) ^[1] 、 NavBeit(1989) ^[7] 、 LaserCane(1967) ^[22] 、 GuideCane(1995) ^[24-25]	功能单一,不能全面检测环境信息等。
20 世纪 90 年代中后期—21 世纪初	CCD 摄像头、传感器阵列等	获取丰富而全面的环境信息,包括道路信息等,并通过有效的手段把多维度信息显示出来,用户可以“看到”到环境信息。	voICe(1992) ^[3] 、 NavChair(1994) ^[13] 、 ROTA(2004) ^[17] 、 PAMM(2000) ^[26]	结构复杂,价格昂贵,使用不便,缺乏智能性等。
近几年来	CCD 摄像头、GPS、RFID、传感器阵列及其集成	能够判断路径方向和障碍物的位置等更全面环境信息,实现双向人机交互,用户向系统提出服务请求,系统智能化地为用户提供各种信息服务。	SWAN(2007) ^[10] 、 INSIGHT(2010) ^[11] 、 TP3 导盲系统 ^[24]	具有针对性、区域性,缺乏普遍性等。

1) 20 世纪 70 年代开始,随着超声波、激光等传感器技术的持续发展,该技术逐步应用到盲人助行领域,并从单一传感器向多传感器类型发展。此阶段的盲人导航/路径诱导辅具工作方式主要类似于警报器,当检测到障碍物等目标时,系统就会以警告信号(振动信号或声音信号或二者集成使用)提示盲人用户,不同传感器类型可以获取不同的障碍物信息,其差异性声音或振动信号来表示不同的障碍物的位置和距离。要想解决盲人独

立出行问题,只知道障碍物位置信息是远远不够的,盲人还需要其他更多辅助信息(例如道路等信息)才能安全、自信行走。

2) 20 世纪 90 年代中后期,随着电子计算机图像处理技术成熟应用,系统能从环境中获取丰富而全面的环境信息,包括道路信息等,并通过有效的手段把多维度信息显示出来,用户可以“看到”环境信息。

3) 进入 21 世纪后,随着计算机视觉技术和语音识别等技术的快速发展,系统能够帮助用户判断路径方向和障碍物的位置等更全面环境信息,进行有效避障诱导,并能实现双向人机交互,用户向系统提出服务请求,系统智能化地为用户提供各种信息服务。

盲人导航/路径诱导辅具由起初的“警报器”功能,到环境信息可听化,再到近年来更趋向于智能化,无不凝结着世界各国科研人员智慧和血汗,体现了社会对盲人等弱势群体的关心和呵护。盲人导航/路径诱导辅具还处于发展之中,仍有许多技术、辅具功能、硬件结构以及盲人心理问题有待深入研究和探索。目前该类设备有的功能单一,例如,有的只针对红绿灯、斑马线,有的只针对障碍物,有的只在室内有效,有的只在室外导航,不能全方位地满足用户需求;有的结构复杂,价格昂贵,不易一般用户消费;有的使用不便,需长期学习或培训;有的人机交互和紧急事件的安全性考虑不足等等。因此多数还都处在实验室阶段的开发和测试中。从工效学评价和用户心理学角度出发,研制一种结构简单、便携带、易使用、低成本的人性化盲人导航/路径诱导辅具成为当前一个重要的研究问题。

4 结 语

在这信息技术时代,每个人有权接触和使用信息,并给人类生活带来极大便利。盲人视力的缺失造成了生活上的诸多不便,世界各国学者和专家一直在努力研究辅助装置来提高盲人生活质量,从简单的超声波、激光等单一传感器到多传感器的集成使用来检测障碍物获取警报信息,再到利用图像处理获取丰富而全面的环境信息,以及近年来人机交互技术的大量引入,可以看出辅助装置正朝着越来越趋向于集成化、智能化、人性化方向发展,已经成为此领域研究的热点所在,相信在不久的将来定会给盲人的生活带来更大的福音。

参 考 文 献

[1] Cao Yuzhen, Liu Gang, Yang Haifeng. Detection of pedestrian Crossing in Image-based blind aid devices[J]. Computer Engineering and Application, 2008, 44(15): 176-178.

[2] 何婧, 聂曼, 罗兰, 等. 听觉引导助盲系统[J]. 生物医学工程学杂志, 2010, 27(2): 467-470.

[3] Schellingethout R, Bongers R M, Van Grinsven R, et al. Improving obstacle detection by redesign of walking canes for blind persons[J]. Ergonomics, 2001, 44(5): 513-526.

[4] Cecelja F, Garaj V, Hunaiti Z, et al. A navigation system for visually impaired [C]//Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Sorrento, Italy: IEEE, 2006: 1690-1693.

[5] Russell L. Travel path sounder [C]//Proceedings of Rotterdam Mobility Res. Conference, New York, N. K., USA: American Foundation for the Blind, 1965: 73-78.

- [6] Kay L. A sonar aid to enhance spatial perception of the blind: engineering design and evaluation[J]. *Radio and Electronic Engineer*, 1974, 44(11): 605-627.
- [7] Borenstein J. The NavBelt-A computerized multi-sensor travel aid for active guidance of the blind[C]//*Proceedings of the CSUN's Fifth Annual Conference on Technology and Persons with Disabilities*, Northridge, USA: CSUN, 1990:107-116.
- [8] Meijer P B L. An experimental system for auditory image representations[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1992, 39(2):112-121.
- [9] John Zelek, Richard Audette, Jocelyn Balthazaar, et al. A stereo-vision system for the visually impaired[R]. Canada: University of Guelph, 2000.
- [10] Jeff Wilson, Bruce N. Walker, Jeffrey Lindsay, et al. SWAN: System for Wearable Audio Navigation [C]//*Proceedings of the 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, Washington, D. C., USA: IEEE, 2007:91-98.
- [11] Aura Ganz, Siddhesh Rajan Gandhi, Carole Wilson, et al. INSIGHT: RFID and Bluetooth Enabled Automated Space for the Blind and Visually Impaired [C]//*Proceedings of the 32nd Annual International IEEE EMBS Conference*, New York, N. Y., USA: IEEE, 2010:331-334.
- [12] Shang Wenqin, Jiang Wei, Chu Jian. A machine vision based navigation system for the blind [C]//*Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)*, Piscataway, N. J., USA: IEEE Computer Society, 2011: 81-85.
- [13] Danilo C'aceres Hern'andez, Kang-Hyun Jo. Stairway Segmentation Using Gabor Filter and Vanishing Point [C]//*Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Piscataway, N. J., USA: IEEE Computer Society, 2011:1027-1032.
- [14] 张丽红,方志刚. 电子行走辅助系统设计与发展初探[J]. *人类工效学*, 2005, 11(3):41-43.
- [15] Bell D A, Levine S P, Koren Y, et al. Design criteria for obstacle avoidance in a shared-control system[C]//*Proceedings of the RESNA' 94 Annual Conference*, Arlington, VA, USA: RESNA, 1994:581-583.
- [16] Andrew J Rentschler, Rory A Cooper, Bruce Blasch. Intelligent walkers for the elderly: performance and safety testing of VA-PAMAID robotic walker[J]. *Rehabilitation Research and Development Service*, 2003:423-431.
- [17] Mori H, Kotani S, Saneyoshi K, et al. The matching fund project for practical use of robotic travel aid for the visually impaired[J]. *Advanced Robotics*, 2004, 18(5):453-472.
- [18] Yelamarthi K, Haas D, Nielsen D, et al. RFID and GPS integrated navigation system for the visually impaired[C]//*Proceedings of the 53rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS 2010)*, Piscataway, N. J., USA: IEEE, 2010: 1149-1152.
- [19] Chen Feng, Ma Cong, Ma Weiguo, et al. Study on Mobile Robot Navigation Based on Strategy of Blind Man Finding Way [C]//*Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Piscataway, N. J., USA: IEEE Computer Society, 2011:1045-1049.
- [20] Genci Capi, Hideki Toda. A New Robotic System to Assist Visually Impaired People [C]//*Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, New York, N. Y., USA: IEEE 2011:259-263.
- [21] 郝矿荣,于洋,丁永生. 一种基于机器视觉的导盲机器人[P]. 中国专利 CN102048612A 2011-05-11.
- [22] Bolgiano D, Meeks E J. A Laser Cane for the Blind[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronic*, 1967, 3(6):268-268.
- [23] Bo N Schenkman, Gunnar Jansson. The Detection and Localization of Objects by the Blind with the Aid of Long-Cane Tapping Sounds[J]. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1986, 28(5): 607-618.
- [24] Shoval S, Borenstein J, Koren Y. Mobile robot obstacle avoidance in a computerized travel aid for the blind [C]//*Proceedings of the 1994 IEEE Robotics and Automation Conference*, Piscataway, N. J., USA: IEEE, 1994:2023-2029.
- [25] Ulrich I, Borenstein J. The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 2001, 31(2):131-136.
- [26] Steven Dubowsky, Frank Genot, Sara Godding, et al. PAMM-A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring: A "Helping-Hand" for the Elderly [C]//*Proceedings. ICRA 00. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Piscataway, N. J., USA: IEEE, 2000, (1):570-576.
- [27] Hesch J A, Roumeliotis S I. An indoor localization aid for the visually impaired[C]//*Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Piscataway, N. J., USA: IEEE, 2007: 3545-3551.
- [28] Ye Cang. Navigating a Portable Robotic Device by a 3D Imaging Sensor [C]//*Proceedings of the IEEE SENSORS 2010 Conference*. Piscataway, N. J., USA: IEEE, 2010:1005-1010.
- [29] Takafumi Lenaga, Yukinobu Sugimura, Yoshihiko Kimuro, et al. Pedestrian Navigation System Using Tone Gradient and Robotic GIS [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2010, 6180(2010): 239-246.
- [30] 方仁杰,朱维兵. 基于 GPS 定位与超声波导盲拐杖的设计[J]. *计算机测量与控制*, 2011, 19(5):1154-1157.
- [31] Shaik A, Hossain G, Yeasin M. Design, development and performance evaluation of reconfigured mobile Android phone for people who are blind or visually impaired [C]//*Proceeding SIGDOC 10 the 28th ACM International Conference on Design of Communication*, New York, N. Y., USA: ACM, 2010:159-166.
- [32] Jaime Sánchez, Natalia de la Torre. Autonomous navigation through the city for the blind [C]//*Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, New York, N. Y., USA: ACM, 2010:195-202.
- [33] 徐珠宝,许勇,杨军. Windows Mobile 平台下的盲人导航软件系统开发[J]. *计算机与现代化*, 2010(10):116-119.
- [34] James Coughlan, Roberto Manduchi. Color targets: fiducials to help visually impaired people find their way by camera phone[J]. *Journal on Image and Video Processing*, 2007(2):10-10.
- [35] Peng En, Patrick Peursum, Li Ling, et al. A Smartphone-Based Obstacle Sensor for the Visually Impaired [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2010, 6406(2010):590-604.
- [36] Rayoung Yang, Sangmi Park, Sonali R, et al. Supporting spatial awareness and independent wayfinding for pedestrians with visual impairments[C]//*Proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, New York, N. Y. USA: ACM, 2011:27-34.