

基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔设计

何俊杰, 马佳鑫, 曹轶淳

苏州城市学院 光学与电子信息学院 光电信息科学与工程系, 江苏 苏州 215311

DOI: 10.61369/SDME.2026010032

摘 要 : 针对现有盲人出行辅助智能头盔缺乏高效求助警示机制、近距离障碍物检测精度不足且无法自适应光照环境的问题, 本文设计了一种基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔。该头盔以光纤通信为核心, 集成触发控制、光电检测、声光警示、触觉语音提示等模块, 实现了盲人主动求助时的全方位声光警示, 以及预设范围内障碍物的精准定位与距离检测, 并根据检测结果向盲人反馈振动与语音提示, 该头盔能有效提升了盲人出行的安全性与求助成功率, 为盲人出行辅助设备的研发提供了新的技术思路。

关 键 词 : 盲人出行辅助; 智能头盔; 光纤通信; 光电传感器; 障碍物检测

Design of Intelligent Helmet for Blind People's Travel Assistance Based on Fiber Optic Communication System

He Junjie, Ma Jiaxin, Cao Yichun

Department of Optoelectronic Information Science and Engineering, School of Optics and Electronic Information, Suzhou City University, Suzhou, Jiangsu 215311

Abstract : Aiming at the problems of existing intelligent helmets for blind people's travel assistance, such as the lack of an efficient help-seeking and warning mechanism, insufficient detection accuracy of short-range obstacles, and inability to adapt to light environments, this paper designs an intelligent helmet for blind people's travel assistance based on a fiber optic communication system. With fiber optic communication as the core, the helmet integrates modules such as trigger control, photoelectric detection, acousto-optic warning, and tactile-voice prompt. It realizes all-round acousto-optic warning when blind people take the initiative to seek help, as well as precise positioning and distance detection of obstacles within a preset range. According to the detection results, vibration and voice prompts are fed back to blind people. This helmet effectively improves the safety of blind people's travel and the success rate of help-seeking, and provides a new technical idea for the research and development of travel assistance equipment for blind people.

Keywords : travel assistance for blind people; intelligent helmet; fiber optic communication; photoelectric sensor; obstacle detection

引言

盲人出行辅助是无障碍设施建设与人工智能技术应用的重要研究方向, 智能头盔因便携性、集成性优势成为该领域的重要载体。目前国内外研发的盲人智能头盔多集中于激光雷达定位、机器视觉识别等技术融合, 如昆明理工大学城市学院设计的 EyeSee 头盔, 虽能实现书籍识别与障碍物感知, 但未配置专门的光学求助警示系统, 无法在盲人需要帮助时第一时间吸引周围人群注意; 同时其激光雷达检测模块存在近距离检测盲区, 精度不足的问题, 难以实现近距离小障碍物的有效识别。此外, 现有设备的检测模块大多无法根据环境光照强度自适应调整, 在暗光环境下检测性能大幅下降。

光纤通信具有信号传输稳定、抗干扰能力强、传输速率快的特点^[1], 光电检测技术则能实现近距离物体的高精度感知, 将二者融合应用于盲人出行辅助智能头盔, 可有效解决现有设备的技术痛点。本文设计的基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔, 构建了触发-控制-光纤通信-警示的求助体系, 以及光电检测-信号处理-比较-提示的障碍物检测体系, 实现了求助警示的全方位性与障碍物检测的高精度、自适应性, 为盲人提供了更安全、高效的出行辅助方案。

一、系统总体设计

本设计的盲人出行辅助智能头盔以头盔主体为载体^[2], 集成

触发模块、控制模块、光纤通信系统、光电传感器、警示装置、提示装置六大核心模块, 同时配置辅助按钮、麦克风、供电装置等外围组件, 系统整体架构遵循“信号触发-信号传输-信号处

理-执行反馈”的逻辑设计,实现求助警示与障碍物检测两大核心功能。

头盔的各模块采用分布式安装方式,根据盲人操作习惯与检测、警示需求规划安装位置,核心控制与光学耦合部件集成封装,检测、警示、提示部件分布式布局,既保证了模块间的信号传输效率,又提升了头盔的操作便捷性与功能实现的全面性。系统的整体工作逻辑为:当盲人触发求助信号时,控制模块驱动光纤通信系统向全方位警示装置传输信号,实现声光同步警示;光电传感器实时检测预设范围内的障碍物,将检测信号转换处理后通过比较器判断风险等级,向提示装置发送反馈信号,实现对盲人的振动与语音提示。

图1为基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔的整体结构示意图,该头盔以轻量化头盔主体为基础,各功能模块按功能需求分布于头盔的顶部、前侧、后侧、左侧、右侧及内部耳部相邻位置,各部件布局兼顾操作便捷性与功能有效性。

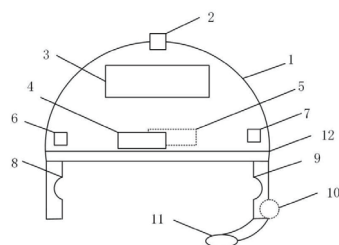


图1 基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔整体结构示意图

附图标记说明: 1- 头盔主体; 2- 封装壳体; 3- 光电传感器; 4- 前侧警示装置; 5- 后侧警示装置; 6- 右侧警示装置; 7- 左侧警示装置; 8- 右侧提示装置; 9- 左侧提示装置; 10- 辅助按钮; 11- 麦克风; 12- 光纤装置; 13- 后侧供电装置。

二、硬件模块详细设计

本智能头盔的硬件模块按功能划分为触发控制模块、光纤通信系统、光电传感器模块、警示装置、提示装置及外围辅助模块,各模块间通过有线通信实现信号的稳定传输,核心模块选用工业级高性能器件,保证头盔的工作稳定性与检测精度^[3]。

触发控制模块是头盔的“控制中枢”,包括触发模块、控制模块、光耦合器,三者集成于封装壳体2内并安装于头盔顶部安装舱(图1),其模块间的信号连接关系如图2所示。触发模块的核心功能是接收盲人的求助指令并向控制模块发出求助信号;控制模块作为信号处理核心,接收求助信号后向光耦合器发出第一光源发射信号;光耦合器作为光纤通信系统的光信号发射核心,将电信号转换为窄带点光源信号并传输至光纤装置。

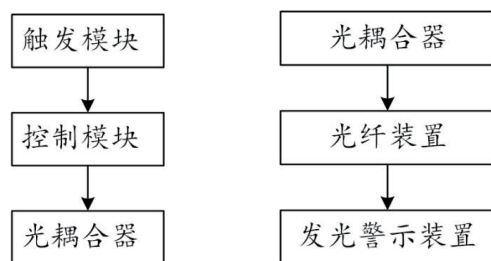


图2 触发模块、控制模块与光耦合器连接示意图

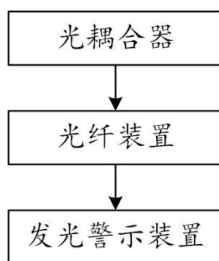


图3 光纤通信系统组成示意图

触发模块的启动方式分为物理触发与语音触发:物理触发通过置于头盔左侧安装舱的大尺寸圆形辅助按钮10实现,适配盲人的触觉操作习惯;语音触发通过左侧的麦克风11实现,麦克风选用DJI Mic 2、LARK MIX或Blink500 B2+型号,可精准接收盲人的语音指令并启动触发模块。

光纤通信系统是实现求助信号远距离、稳定传输的核心,包括光耦合器、光纤装置、警示装置,其系统组成与信号传输关系如图3所示,核心功能是将光耦合器发出的窄带点光源信号稳定传输至全方位的警示装置,驱动警示装置发出求助信号。图3中光耦合器为光信号发射端,光纤装置为光信号传输介质,警示装置为光信号接收与执行端,窄带点光源信号经光纤装置传输至前、后、左、右四侧的警示装置,驱动其完成声光警示。

光纤装置12布设于头盔主体1的外层边缘,外侧增设保护壳,既保证了光信号的全向传输,又能防止光纤受外力损坏;光耦合器为定制化设计,实现窄带点光源信号向光纤装置的高效耦合。

光电传感器模块是障碍物检测的核心,放置于头盔前侧安装舱(图1),其内部结构如图4所示,包括光源感应单元、光信号发射单元、光电探测器、信号转换单元、存储单元、微型处理器、比较器七大单元^[3],核心功能是实现环境光照强度的感应、障碍物反射光信号的采集与转换、障碍物位置与距离的计算,以及风险信号的判断与反馈。

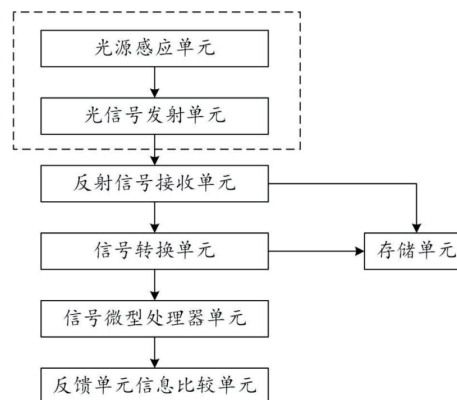


图4 光电传感器内部结构示意图

注:各单元信号传输逻辑为:光源感应单元向光信号发射单元传输第二光源发射信号;光信号发射单元发射点光源信号,经障碍物反射后由光电探测器接收;光电探测器向信号转换单元传输反射光源信号,信号转换单元完成光-电转换后向微型处理器与存储单元传输电信号;微型处理器向比较器传输障碍物位置与距离信息;比较器向提示装置传输反馈信号;存储单元实现反射光源信号与电信号的实时存储。

模块内的核心器件选用高性能工业级产品:微型处理器选用STM32MP157或STM32H7型号,具备高速的电信号处理与数据计算能力^[2],可快速完成障碍物实际距离与预设安全距离的对比,实现风险信号的快速反馈;存储单元可实时存储每次检测的反射光源信号与对应电信号,为后续模块性能优化提供数据支撑。

警示装置分为前侧4、后侧5、左侧7、右侧6四组(图1),分别置于头盔对应方向的安装舱内,每组警示装置均包括发光模

块与警示语音模块：发光模块内置发光灯，接收窄带点光源信号后发出红色亮光，实现视觉警示；警示语音模块内置扬声器，接收窄带点光源信号后发出警示语音，实现听觉警示。四组警示装置的全方位布局，保证了盲人求助信号能被周围各个方向的人群感知，大幅提升求助成功率。

提示装置分为左侧9与右侧8两组（图1），置于头盔内部左右两侧与耳部相邻的安装舱内，每组提示装置包括振动模块与提示语音模块，核心功能是接收比较器的反馈信号并向盲人发出专属提示信息：振动模块通过不同频率的振动向盲人反馈障碍物的距离与方位；提示语音模块通过语音播报向盲人实时告知“前方XX米有障碍物”等信息，实现触觉与听觉的双重提示，适配盲人的感知特点。

外围辅助模块主要为供电装置13，置于头盔后侧安装舱内，为头盔所有模块提供稳定的电力支持，采用可充电锂电池设计，兼顾续航能力与便携性；同时供电装置配置过充、过放保护电路，提升头盔的使用安全性。

三、系统工作原理

本智能头盔的核心功能为求助警示与障碍物检测提示，两大功能相互独立且可同时工作，系统的工作原理围绕信号的触发、传输、处理与执行展开，具体流程如下。

（一）求助警示工作原理

触发启动：盲人通过按压辅助按钮10或发出语音指令，由麦克风11接收并启动触发模块；

信号传输：触发模块向控制模块发出求助电信号，控制模块接收后向光耦合器发出第一光源发射电信号；

光信号转换与传输：光耦合器将电信号转换为窄带点光源信号，通过光纤装置12将光信号传输至头盔前、后、左、右四侧的警示装置；

全方位警示：警示装置接收窄带点光源信号后，发光模块发出红色亮光，警示语音模块发出警示语音，实现视觉与听觉的全方位求助警示。

（二）障碍物检测提示工作原理

光照感应与光源发射：光源感应单元实时感应头盔预设范围内的光线强度，若光照强度低于阈值，向光信号发射单元发出第二光源发射信号，光信号发射单元按间歇性发光策略发射点光源信号；若光照强度高于阈值，则利用环境光源进行检测；

光信号采集与转换：点光源信号经障碍物反射后，由光电探测器接收反射光源信号，信号转换单元将光信号转换为电信号，同时存储单元实时存储反射光源信号与对应电信号；

数据计算：微型处理器接收电信号，通过数据计算得到障碍物的当前位置信息与盲人与障碍物间的距离信息；

风险判断：比较器将实际距离与预设安全距离对比，若实际距离小于安全距离，则向提示装置发出风险反馈信号；

盲人提示：提示装置接收反馈信号后，振动模块产生不同频率的振动，提示语音模块播报障碍物的距离与方位信息，实现对盲人的双重提示，使其及时做出避让动作。

四、系统创新点与优势

本设计的基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔，具有以下核心创新点与技术优势：

1. 构建了光纤通信式全方位求助警示体系：将光纤通信技术应用于盲人智能头盔的求助警示，通过光耦合器、光纤装置与四侧警示装置的协同工作，实现了光信号的稳定传输与声光同步的全方位警示，大幅提升了盲人的求助成功率；

2. 实现了自适应光照的近距离高精度障碍物检测：光电传感器集成光源感应单元，可根据环境光照强度自适应选择检测光源，解决了现有设备在暗光环境下检测性能下降的问题；

3. 采用模块化与人性化的设计布局：触发模块支持物理与语音双重触发，适配盲人的触觉与听觉操作习惯；提示装置置于耳部相邻位置，实现振动与语音的近距离提示；核心控制模块集成封装，外围功能模块分布式布局，既保证了头盔的结构紧凑性，又提升了操作便捷性与功能实现的有效性；

五、结论

本文设计的基于光纤通信系统的盲人出行辅助智能头盔^[6]，针对现有技术的技术痛点，融合光纤通信、光电检测等技术，构建了求助警示与障碍物检测两大核心功能体系，完成了头盔的整体结构设计、硬件模块选型与核心光学部件的设计。结果表明，该头盔能自适应不同光照环境，实现了盲人求助的全方位声光警示与障碍物的近距离高精度检测及专属提示，有效提升了盲人出行的安全性与求助成功率。未来，随着人工智能与光学通信技术的不断发展，该智能头盔有望实现更智能化、多元化的盲人出行辅助功能，为盲人的无障碍出行提供更全面的保障。

参考文献

- [1] 王俊武. 光纤通信技术的发展方向研究 [J]. 中国新通信, 2025, 27(01): 13–15.
- [2] 孙永, 张瑞雪, 高东杰, 等. 一种多姿态感知智能防护头盔的设计 [J]. 天津职业技术师范大学学报, 2025, 35(03): 22–27. DOI: 10.19573/j.issn2095–0926.202503004.
- [3] 宋华卓, 王建平, 霍少杰, 等. 基于 STM32F103RCT6 的智能盲人导航头盔系统设计 [J]. 内江科技, 2025, 46(05): 42–44.
- [4] 胡志威, 彭润玲, 秦汉, 等. LightTools 软件在均匀光分布的照明系统设计中的应用 [J]. 光学仪器, 2012, 34(04): 49–53.
- [5] 郭长伟. 基于 LED 均匀照明的仿真研究与应用 [D]. 苏州大学, 2019. DOI: 10.27351/d.cnki.gszzhu.2019.001034.
- [6] Xu P., Song A., Wang K. Intelligent Head-Mounted Obstacle Avoidance Wearable for the Blind and Visually Impaired [J]. Sensors, 2023, 23(23): 9598–. DOI: 10.3390/S23239598.