

基于增强现实的智能目镜设计与应用

陈 庚¹, 黄文秀², 陈先赛¹, 胡 波¹, 陈思思³

(1. 浙江安防职业技术学院 新能源装备学院, 浙江 温州 325000; 2. 宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315100; 3. 浙江大华技术股份有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘要:为解决传统测量仪器在恶劣环境中存在数据传输实时性差和交互能力弱的问题,文中设计了一款融合物联网与智能识别技术的增强现实智能目镜。该设备以 K210 和 STM32 为双主控芯片,结合 YOLOv2 目标检测算法与 K210 内置语音识别模型构建核心系统,并通过 Socket 协议和 ESP32 实现物联网设备的无线通信,从而完成目标识别、语音控制与设备状态读取的一体化操作。实验测试结果表明,智能目镜在指定数据集内对目标和语音指令均具有较高的识别准确率,可精准实现增强现实的信息交互与物联网设备管控,为增强现实技术在工业检测领域的应用提供了参考。

关键词:YOLOv2; 目标检测; 增强现实; 可穿戴设备; 语音识别

中图分类号:TN919.85

文章编号:1000-0682(2026)04-0064-07

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2026.04.011

Design and application of smart eyeglasses based on augmented reality

CHEN Geng¹, HUANG Wenxiu², CHEN Xiansai¹, HU Bo¹, CHEN Sisi³

(1. School of New Energy Equipmnet, Zhejiang College of Security Technology, Zhejiang Wenzhou 325000, China;

2. Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, Zhejiang Ningbo 315100, China;

3. Zhejiang Dahua Technology Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou 310053, China)

Abstract: In order to solve the problem of poor real-time data transmission and interaction ability of traditional measuring instruments in harsh environments, an augmented reality intelligent eyepiece integrating Internet of Things and intelligent identification technology is designed in this paper. It uses K210 and STM32 as dual master chips, combines YOLOv2 target detection algorithm and K210 built-in voice recognition model to build a core system, realizes wireless communication of IoT devices through Socket protocol and ESP32, and completes the integrated operation of target recognition, voice control and device status reading. The experimental test results show that the intelligent eyepiece has a high recognition accuracy of targets and voice commands in the specified data set, which can accurately realize the information interaction of augmented reality and the management and control of Internet of Things equipment, providing a reference for the application of augmented reality technology in the industrial detection field.

Keywords: YOLOv2; object detection; augmented reality; wearable devices; voice recognition

0 引言

随着工业化进程的持续加速,各类测量仪器得到了广泛应用。然而,传统测量仪器在数据传输、存

储与实时性方面存在短板,难以满足高精度、高难度的检测需求。同时,其成本和可靠性问题也日益凸显,成为制约现场检测工作的技术瓶颈。增强现实技术(Augmented Reality, AR)作为新型人机交互手段^[1-2],通过将数字信息叠加至真实世界,大幅提升了用户的感知与交互体验。例如头戴式可穿戴设备在工业、医疗等领域展现出广阔的应用前景,已成为国内外研究的热点方向。文献[3~4]聚焦于国外增强现实眼镜的研究,其内容多涉及显示质量改善、

收稿日期:2026-05-07

基金项目:2024 年温州市基础科研项目“基于增强现实技术的智能目镜研制”(G20240080)

第一作者:陈庚(1995—)男,汉族,浙江温州人,硕士,助教,研究方向为嵌入式系统设计。

设备尺寸微型化与计算效率优化等方面,虽然有效推动了设备的实用化,但未能突破视野受限、交互方式单一的核心问题。文献[5~6]专注于国内学者的研究,其内容主要围绕 AR 近眼显示的晕动症、长时间佩戴舒适度等问题展开深入探讨,并在 AR 人机交互遥操作系统设计方面取得了相应的进展,但针对工业检测场景中低成本、个性化增强现实可穿戴设备的研发仍相对匮乏。此外,如何实现自然、无缝的人机交互体验,仍是国内外增强现实领域亟待突破的关键方向。

研发适配工业检测场景的增强现实智能眼镜,不仅能有效解决传统测量仪器的技术痛点,还能推动增强现实技术在工业领域的落地应用,具有重要的工程实践价值和技术创新意义。文中以物联网与人工智能识别技术为核心,设计了一款基于 K210 和 STM32 双主控芯片的增强现实智能眼镜。该设备集成了手势识别、语音控制以及物联网数据交互功能,能够实现工业现场目标识别和设备状态的实时读取,有效提升工业检测的便捷性与实时性。

1 系统总体设计

1.1 系统整体架构

此次研究设计的增强现实智能眼镜系统以 STM32 单片机和 K210 智能芯片为双主控核心,由视频采集、语音采集、双主控处理、光学叠加显示、电源管理和数据传输 6 个模块构成。各模块之间协同工作,共同实现数据采集、处理、显示与交互的全流程,系统的总体架构如图 1 所示。

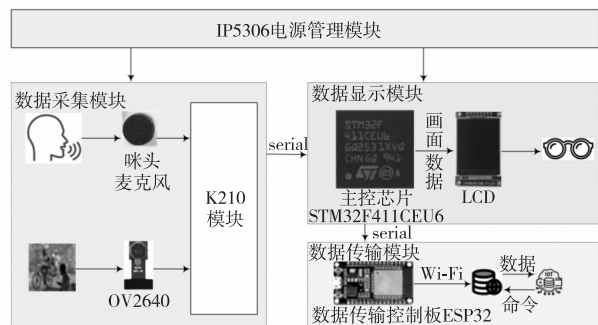


图 1 系统的总体架构图

系统各模块分工协作,具体如下:

(1) 视频采集模块作为系统的视觉感知单元,负责环境图像信息的捕捉与采集,并将数据传输至双主控芯片;

(2) 语音采集模块作为音频感知单元,实现对用户语音指令的采集和转化,为系统的语音交互提

供数据支撑;

(3) 双主控处理模块是系统的核心单元,生成视频与语音采集模块的控制信号,基于目标检测和语音识别算法完成对数据的处理与分析,并将识别结果转换为可视化的指示性画面;

(4) 光学叠加显示模块负责将数字信息与现实场景进行叠加,实现增强现实的核心显示功能;

(5) 电源管理模块为系统各模块提供稳定的工作电压,保障设备的稳定运行;

(6) 数据传输模块用于实现系统、远程终端、物联网设备的数据交互,完成信号数据的传输与读取。

1.2 系统工作原理

智能眼镜系统的工作流程为:视频与语音采集模块同步捕捉环境图像和用户语音,并将数据传输至 K210 芯片。K210 芯片通过目标检测与语音识别算法完成数据处理和识别,并通过串口传输至 STM32 单片机。STM32 单片机接收识别结果后,驱动显示模块生成指示性画面,最终由光学叠加显示模块将该画面叠加至用户的现实视野中,实现增强现实显示。同时,系统通过 ESP32 微控制器与外部物联网设备建立无线通信,可根据用户的手势和语音指令,实时读取设备状态或执行远程控制。这样,系统就可以通过各模块的协同工作实现感知、处理、显示及交互的一体化功能。

2 硬件设计

硬件设计是实现智能眼镜系统的基础。本系统以双主控芯片为核心,围绕感知、显示、供电和传输 4 种需求,完成了各功能模块的架构设计与工程实现。

2.1 双主控处理模块

双主控处理模块采用 K210 智能芯片与 STM32 单片机的组合架构,两款芯片协同工作,兼顾数据处理的算力和显示控制的精准性。K210 芯片^[7]凭借其较强的嵌入式算力,主要承担数据采集和分析功能,负责视频图像的目标检测、语音信号的识别处理,并完成与 ESP32 的无线通信交互;STM32 单片机^[8]则侧重于增强现实系统的显示功能,驱动光学叠加显示模块的硬件工作,同时承担与系统各功能模块的通信任务,接收 K210 的识别结果并转换为可视化的显示信号,保障数据传输的实时性和稳定性。

2.2 光学叠加显示模块

为保障用户的佩戴舒适度、正常视野和良好的人机交互体验,光学叠加显示模块采用分光棱镜技

术^[9],完成数字画面与现实环境的光学叠加,实现增强现实的显示功能。在硬件方面,模块由 90°分光棱镜、LCD 显示屏和凸透镜组成。其中,90°分光棱镜置于人眼前方,将环境光图像直接折射至人眼,从而保障用户的正常现实视野;同时,LCD 显示屏位于 90°分光棱镜正上方,其画面经凸透镜聚焦后投影至用户视野中,实现数字信息与现实场景的叠加,工作原理如图 2 所示。

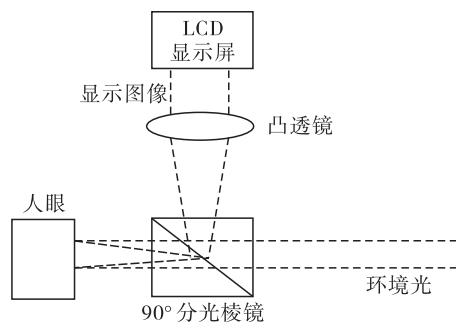


图 2 光学叠加工作原理图

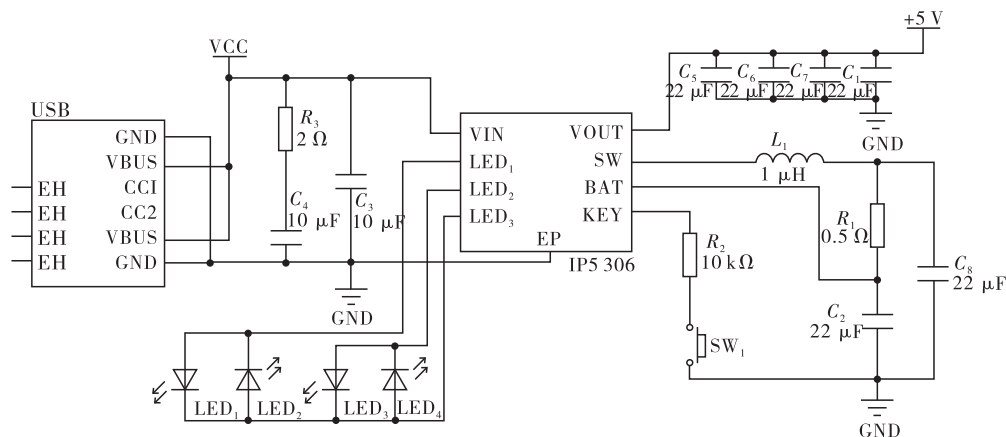


图 3 电源管理模块的结构图

用户通过 USB 接口接入 5 V 标准充电电压,该电压经电阻 R_3 、电容 C_4 与 C_3 组成的滤波电路后,输入至 IP5306 芯片,由芯片对锂电池进行恒流恒压充电,保障充电过程的安全性。在非充电状态下,IP5306 通过内部的 DC/DC 升压电路,将锂电池的电压转换为 5 V 工作电压,为整个硬件系统供电。同时,模块接入 4 个 LED 灯,利用灯的亮灭状态来反应锂电池的剩余电量,以便于用户掌握设备的续航状态。

2.4 数据传输模块

数据传输模块分为有线和无线通信两部分,分别满足系统内部芯片与外部物联网设备的数据交互需求。系统内部采用 UART 串口通信方式^[10],其中负责语音识别的 K210 芯片启动两个串口,分别与 STM32 和负责目标检测的 K210 芯片通信,作为三

LCD 显示屏由 ST7735 控制器驱动。该控制器内置 RAM,支持图像数据的缓存,可保证目镜显示图像的连续性,从而提升系统数据的可靠性;同时,其自适应帧率与低功耗模式能够满足可穿戴设备的低功耗需求,适配智能目镜的便携化应用场景。通过优化 90°分光棱镜和凸透镜的光学参数,保障了叠加画面的清晰度与视野的合理性,有效改善了现有 AR 设备视野受限的问题。

2.3 电源管理模块

电源管理模块以 IP5306 为核心,能够为系统各模块提供稳定的工作电压,并实现锂电池的安全充电和电量指示,从而保障设备的续航能力与使用安全性,适配可穿戴设备的便携化需求。该模块硬件架构包括 USB 充电接口、滤波电路、锂电池以及 LED 电量指示灯,具体结构如图 3 所示。

芯片的数据中继,保障内部数据传输的顺畅。

系统外部的无线通信以 ESP32 微控制器为核心^[11],采用 Wi-Fi 通信,基于 Socket 协议实现与外部物联网设备的数据交互;同时,通过广播协议完成智能目镜和多个 ESP32 设备的快速连接,从而保障数据传输的实时性与稳定性。数据传输模块的双通信架构,既满足了系统内部的高速数据交互,又实现了与外部物联网设备的无线通信,为工业现场的远程设备管控提供了硬件基础。

3 软件系统设计

3.1 软件整体框架

智能目镜的软件系统采用分层式模块化设计,整体分为感知层、处理层、显示层以及通信层 4 个层级,层级间通过标准化的数据接口进行数据交互,其

框架如图 4 所示。(1)感知层包括视频采集与语音采集子模块,负责环境图像和语音信号的采集与预处理,将原始数据转换为算法可处理的格式;(2)处理层是软件系统的核心,包括目标检测和语音识别子模块,基于 YOLOv2 算法与 K210 内置语音识别模型,完成数据的分析和识别,并输出识别结果;(3)显示层为结果显示子模块,接收处理层的识别结果,将其转换为可视化的指示性画面,驱动硬件显示模块完成增强现实显示;(4)通信层包括内部串口通信与外部无线通信子模块,完成系统内部芯片间和外部物联网设备间的数据传输与指令交互。

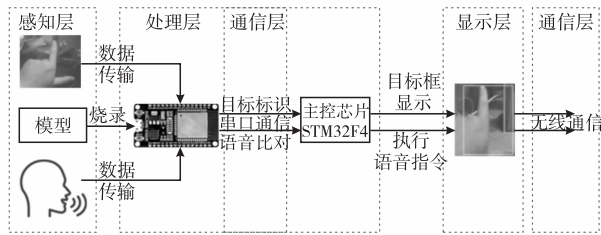


图 4 软件框架结构图

3.2 目标检测算法设计

该系统的目标检测功能基于 YOLOv2 算法实现,部署于 K210 芯片中,主要完成手势与物联网设备的目标识别,为后续的交互和控制提供数据支撑。YOLOv2 算法在 YOLOv1 的基础上进行了优化,采用批量归一化、锚框机制以及维度聚类改进策略,提升了检测速度与准确率,更好地适配嵌入式设备的运行需求。

3.2.1 YOLOv2 算法核心原理

YOLOv2 算法^[12-13]将目标检测问题转化为回归问题,通过单个卷积神经网络直接预测目标的边界框与类别概率。其核心是将输入图像划分为 $S \times S$ 的网格,若目标的中心落在某一网格内,则由该网格负责检测目标。算法引入锚框机制,为每个网格预设 B 个锚框,通过计算锚框与真实边界框的交并比进行匹配,以提升边界框的预测精度。同时,采用维度聚类方法,根据训练数据集集中真实边界框的尺寸分布,聚类得到锚框的尺寸参数,使其更贴合检测目标,从而提升检测准确率。

3.2.2 损失函数设计与计算

损失函数是 YOLOv2 算法训练的核心,用于衡量预测结果与真实结果之间的误差,指导模型的参数优化。该损失函数包括坐标损失、置信度损失和分类损失 3 个部分,总损失函数为:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{coord}} + L_{\text{conf}} + L_{\text{cls}} \quad (1)$$

式中: L_{coord} 为坐标损失; L_{conf} 为置信度损失; L_{cls} 为分类损失。

坐标损失采用平方差损失函数,用于衡量预测边界框与真实边界框之间的位置误差,计算公式为:

$$L_{\text{coord}} = \lambda_{\text{coord}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B I_{ij}^{\text{obj}} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2 + (\sqrt{w_i} - \sqrt{\hat{w}_i})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i})^2] \quad (2)$$

式中: λ_{coord} 为坐标损失的权重系数; I_{ij}^{obj} 表示第 i 个网格的第 j 个锚框负责检测的目标; $x_i, y_i, \sqrt{w_i}, \sqrt{h_i}$ 为真实边界框的中心坐标与宽高; $\hat{x}_i, \hat{y}_i, \sqrt{\hat{w}_i}, \sqrt{\hat{h}_i}$ 为预测边界框的中心坐标和宽高。

置信度损失用于衡量预测边界框的置信度误差,分为包含目标与不包含目标两种情况,计算公式为:

$$L_{\text{conf}} = -\lambda_{\text{obj}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B I_{ij}^{\text{obj}} [\hat{C}_i \lg C_i + (1 - \hat{C}_i) \lg(1 - C_i)] - \lambda_{\text{noobj}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B I_{ij}^{\text{noobj}} [\hat{C}_i \lg C_i + (1 - \hat{C}_i) \lg(1 - C_i)] \quad (3)$$

式中: λ_{obj} 为包含目标的权重系数; λ_{noobj} 为不包含目标的权重系数; I_{ij}^{noobj} 表示第 i 个网格的第 j 个锚框不负责检测的目标; $\hat{C}_i$ 为预测置信度; C_i 为真实置信度。

分类损失采用交叉熵损失函数,用于衡量目标类别的预测误差,计算公式为:

$$L_{\text{cls}} = - \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B I_{ij}^{\text{obj}} \sum_{c \in \text{classes}} [\hat{P}_{i(c)} \lg P_{i(c)} + (1 - \hat{P}_{i(c)}) \lg(1 - P_{i(c)})] \quad (4)$$

式中: $\hat{P}_{i(c)}$ 为预测的第 i 个网格中目标属于类别 c 的概率; $P_{i(c)}$ 为真实概率。

3.3 语音识别与通信程序设计

语音识别功能基于 K210 芯片的内置语音识别模型实现,主要完成用户“打开”“读取”“关闭”等指令的识别,为系统的语音交互提供支撑。该设计突出了操作的便捷性,更好地适配工业现场的单手操作需求。

K210 内置的语音识别模型基于端到端的嵌入式语音识别架构,采用梅尔频率倒谱系数(Mel Frequency Cepstral Coefficient, MFCC)^[14-16]完成语音信号的特征提取,将连续的语音信号转换为离散的特征向量。该特征向量能够有效表征语音的声学特

征,在降低数据维度的同时提升识别效率。特征提取的流程为:首先,对硅基麦克风采集的音频信号进行预加重、分帧与加窗处理,以消除信号的频谱失真;然后,通过快速傅里叶变换将时域信号转换为频域信号,并计算梅尔频率倒谱;最后,对梅尔频率倒谱进行离散余弦变换,得到 MFCC 特征向量。

将提取到的 MFCC 特征向量输入至 K210 内置的语音识别模型,并与内存中储存的指令音节特征向量进行相似度匹配,采用欧氏距离计算向量间的相似度,计算公式为:

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (5)$$

式中: $\mathbf{x}$ 为采集的语音特征向量; $\mathbf{y}$ 为内存中的指令音节特征向量; n 为特征向量的维度。当相似度高于设定的阈值时,模型返回匹配的词汇列表。若该列表中的词汇属于系统设定的指令,则触发对应的操作,从而完成语音识别的功能。

以 2.4 节所述的数据通信模块为硬件基础,通信程序的设计也相应地分为内部串口通信与外部无线通信两部分,分别实现系统内部芯片间和外部物联网设备间的数据交互,保障系统通信的实时性与稳定性。

4 实验测试分析

4.1 实验环境与设备

实验设计在室内模拟工业现场环境,所用设备包括研制的增强现实智能目镜、ESP32 微控制器、智能灯以及计算机。其中,智能目镜采用文中设计的双主控架构,并编写了目标检测、语音识别与通信程序;智能灯搭载 ESP32 控制器,且开发了数据读取和发送的应用程序,作为物联网测试终端。

4.2 实验实施与结果分析

4.2.1 目标检测功能测试

该次测试以 K210 摄像头采集的 2000 张特定手势与物联网设备(智能灯)图像为数据集,按 1:1 的比例随机划分为训练集和测试集,各 1000 张。将训练集输入至 YOLOv2 模型进行训练,记录模型训练过程中的损失率与准确率变化,得到模型训练损失曲线,如图 5 所示。

从图 5 中的曲线变化趋势可知,随着迭代次数的增加,模型的损失率逐渐下降,准确率逐渐上升。当迭代次数达到 25 次后,损失率与准确率均趋于平稳,表明模型已收敛,具备良好的检测性能。

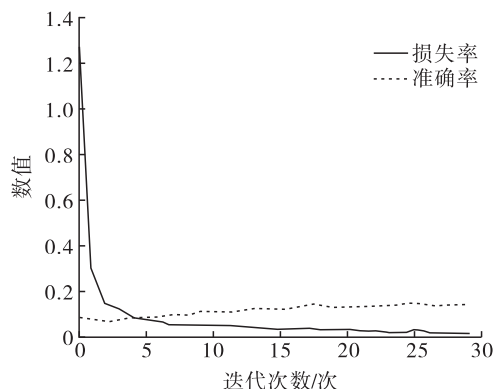
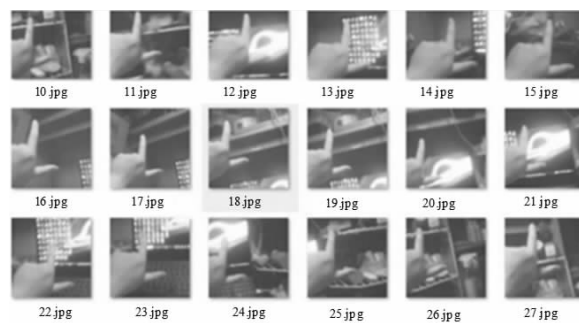


图 5 模型损失曲线

图 6 所示为训练集图像与智能目镜显示屏的实际画面,图中目标框能够正确显示,表明 K210 模块已成功识别该手势目标。



(a) 训练集画面



(b) 实际显示画面

图 6 训练集与实际显示画面

4.2.2 语音识别功能测试

针对系统预设的“打开”“读取”“关闭”3 条语音指令展开语音识别功能测试。该测试以 MaixPy-IDE 为平台,选取 50 名不同性别、年龄段的测试者,录制其标准发音作为测试样本。每种发音对每条指令测试 10 次,总计完成 1500 次语音指令测试。实验过程中,测试者在正常环境噪音下发出语音指令,由智能目镜实时采集并识别,系统记录每条指令的正确识别次数并计算准确率,实验结果如表 1 所示。

表 1 语音识别准确率测试结果

声音指令	测试次数/次	识别正确/次	测试准确率/%
打开	500	490	98.0
读取	500	475	95.0
关闭	500	466	93.2

由表 1 可知,3 条语音指令的识别准确率均在 93% 以上,整体识别性能良好,满足工业现场的语音交互需求。其中,“打开”指令的识别准确率高达 98.0%;“关闭”指令的识别准确率相对较低,主要原因是部分测试者的发音存在尾音模糊问题,导致特征提取的相似度降低。总体而言,语音识别模块能稳定响应预设的语音指令,且识别准确率符合系统设计要求。

4.2.3 仪表数据读取功能测试

仪表数据读取功能测试以智能灯为物联网测试设备,验证智能目镜对物联网设备的状态读取与远程控制能力。实验过程为:(1)智能目镜通过摄像头识别到智能灯后,用户做出“L”手势,系统识别后进入设备控制模式;(2)用户发出“读取”语音指令,智能目镜通过 ESP32 与智能灯的 ESP32 控制器建立无线通信,读取智能灯的当前状态,并在目镜中显示;(3)用户继续发出“打开”或“关闭”语音指令,智能目镜向智能灯发送控制指令,验证指令执行效果。

实验重复进行了 100 次后的结果显示,智能目镜对智能灯状态的读取准确率达 98%,且能在目镜中清晰显示设备的开关状态。同时,系统还开发了简略的绘画模式,如图 7 所示。该模式通过识别食指与大拇指的捏合动作来判断用户的绘画操作:捏合时,目镜中显示指尖移动的轨迹,实现了简单的手绘交互,进一步丰富了系统的人机交互模式。



(a) 简略绘画模式关闭 (b) 简略绘画模式开启

图 7 简略绘画模式

4.3 工程应用

为进一步验证该文所设计智能目镜的系统集成

度与可穿戴工程实用性,依据硬件设计方案完成了实物样机的制作。整机以 PLA 材料 3D 打印底座和弹性头带构成,尺寸约 120 mm × 120 mm × 50 mm,重约 300 g。左眼集成摄像头与硅基麦克风,同步采集手势和语音。额头中部内置 3.7 V/1500 mAh 耐高温锂电池及保护电路,为系统统一供电。右眼 AR 显示模块由 LCD 屏、凸透镜和 90°分光棱镜组成,配合 3D 打印构件实现透明叠加显示,实物如图 8 所示。



图 8 智能目镜

工作时,STM32 接收 K210 的识别结果,驱动 LCD 生成指示画面,经光学模块投射至人眼,完成增强现实显示。K210 通过 ESP32 与物联网设备无线通信,使用户通过手势和语音指令即可读取设备状态或实施控制。经 MaixPy IDE 平台及室内近距离测试,样机对规定手势与设备在近距离识别准确率超过 90%,连续工作 2 h 无异常发热与性能衰减,满足工业现场可穿戴设备的基本可靠性需求。

5 结束语

该研究针对传统测量仪器在工业现场的技术瓶颈以及现有增强现实眼镜存在的交互缺陷,设计了一款基于增强现实技术的智能目镜。实验测试结果表明,该智能目镜在目标识别、语音识别与设备交互方面,具备较高的识别准确率和控制可靠性,能够满足工业现场的实际应用需求,为设备参数的实时测量提供了一种高效的可穿戴解决方案。随着增强现实、人工智能与物联网技术的不断发展,后续可从以下 3 个方面对系统进行优化:(1)扩充目标检测和语音识别的数据集,提升模型的泛化能力,使其适配更广泛的工业检测目标与语音指令;(2)优化光学叠加显示模块,在提高显示画面的清晰度和视野范围的同时,改善用户的佩戴与使用体验;(3)降低设备的体积和重量以提升便携性,并进一步丰富工业检测功能,如参数实时测量、数据存储与上传等。

- [9] 于大国,邓文斌.基于角锥棱镜与双 PSD 的深孔直线度检测[J].机械设计与研究,2026,42(1):192-199.
- [10] 何非.基于双向通信的跨网络数据传输设备实现[J].成都信息工程大学学报,2025,40(6):766-771.
- [11] 许广文,赵炎,王艳霞,等.基于 ESP32 的负荷测量仪的设计与应用[J].工业仪表与自动化装置,2025(3):60-64+74.
- [12] 雷光政,乔建华,吴言,等.改进 YOLOv2 的轻量化嵌入式人脸检测算法及实现[J].太原科技大学学报,2025,46(5):426-432.
- [13] 王芳,李慧涛,王凯,等.改进 PP-YOLOv2 的水下侧扫声呐图像多目标识别[J].南开大学学报(自然科学版),2024,57(3):1-7.
- [14] 秦垠忻,王伟昕,王砚生.基于改进 MFCC 特征提取和 DNN 网络的机器人语音识别方法研究[J].计算机测量与控制,2025,33(2):246-253.
- [15] 李瑞琪,李燕,杜水婷,等.基于人工神经网络的电力变压器声纹识别技术[J].沈阳工业大学学报,2024,46(4):380-387.
- [16] 符恬恬,郑斌琪,李成娟,等.基于 PCA 和非线性映射改进的 MFCC 特征提取方法[J].电子测量技术,2025,48(10):93-99.

- [9] 林梅芬,吴学先.一种基于 Adam 算法优化的神经网络变压器顶层油温预测[J]. 电工技术,2023(19):45-48+51.
- [10] 吴宇浩,朱文忠,陈艺月,等.基于特征选择和 RS-LSTM 的变压器故障诊断方法[J]. 现代电子技术,2025,48(20):147-154.
- [11] 李泽波.油浸式变压器在线监测与预警系统的研究[D].南京:南京林业大学,2024.

- 习交通灯控制策略[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(1):165-169.
- [9] 陈富强. 基于计算机视觉的交通灯识别系统设计[J]. 装备制造技术, 2024(2):108-111.
- [10] 张燕,任安虎,陈洋. 基于机器视觉的智能交通控制系统设计[J]. 信息技术, 2025, 49(2):55-60.
- [11] 尹延龙,丁瑞好,董铮. 基于树莓派的交通灯实时控制系统设计[J]. 电子制作, 2024, 32(2):89-93.