

面向聋哑人的MR智能眼镜生命监护系统： 仿真设计与决策仲裁算法验证

王欣奕*, 陆幼优, 谢琪琦, 林珍妮, 刘佳琳, 宓兰娟#

湖州学院生命健康学院, 浙江 湖州

收稿日期: 2026年8月4日; 录用日期: 2026年9月1日; 发布日期: 2026年9月8日

摘 要

聋哑人群体的健康监护与日常沟通长期面临双重困境。本文提出并验证了一个面向聋哑人MR智能眼镜生命监护场景的多传感器融合与决策仲裁算法,旨在系统性解决生理数据与视觉识别结果之间的决策冲突。系统基于C++17多线程架构,融合IMU、PPG与摄像头数据,实现跌倒检测、生命体征监测与紧急手语识别三大功能。针对多源数据冲突,提出三级决策仲裁机制:置信度加权处理手势识别置信度不足,生理-视觉冲突解决生理数据与手语指令的矛盾,时序一致性校验防止决策抖动。仿真实验表明,各功能模块逻辑触发准确率均达100% (各10次),混合异常场景分级警报逻辑准确率为96.7% (30次中29次正确),响应时间小于500 ms,72小时连续运行无崩溃。上述准确率为仿真环境下算法逻辑验证的初步结果,不代表真实硬件部署性能。本研究处于仿真验证阶段,所提架构与仲裁机制可为后续面向聋哑人的MR健康监护应用提供算法层面的设计参考。

关键词

混合现实, 多传感器融合, 聋哑人辅助, 手语识别, 健康监护, 决策仲裁

A Mixed Reality (MR) Smart Glasses-Based Life Monitoring System for Deaf and Mute Individuals: Simulation Design and Verification of Decision Arbitration Algorithm

Xinyi Wang*, Youyou Lu, Qiqi Xie, Zhenni Lin, Jialin Liu, Lanjuan Mi#

School of Life and Health Sciences, Huzhou College, Huzhou Zhejiang

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王欣奕, 陆幼优, 谢琪琦, 林珍妮, 刘佳琳, 宓兰娟. 面向聋哑人的MR智能眼镜生命监护系统: 仿真设计与决策仲裁算法验证[J]. 护理学, 2026, 15(9): 92-101. DOI: 10.12677/ns.2026.159293

Received: August 4, 2026; accepted: September 1, 2026; published: September 8, 2026

Abstract

The health monitoring and daily communication of deaf and mute individuals have long faced dual challenges. This paper proposes and validates a multi-sensor fusion and decision arbitration algorithm for MR smart glasses-based life monitoring in deaf and mute scenarios, aiming to systematically resolve decision conflicts between physiological data and visual recognition results. Built on a C++17 multithreaded architecture, the system integrates IMU, PPG, and camera data to achieve three core functions: fall detection, vital signs monitoring, and emergency sign language recognition. To address multi-source data conflicts, a three-tier decision arbitration mechanism is proposed: confidence weighting handles insufficient gesture recognition confidence, physiological-visual conflict resolution reconciles contradictions between physiological data and sign language commands, and temporal consistency verification prevents decision jitter. Simulation results demonstrate that each functional module achieves 100% logical trigger accuracy (10 tests each), with a hierarchical alert logical accuracy of 96.7% (29 out of 30 mixed abnormal scenarios correct), a response time under 500 ms, and 72-hour continuous operation without crashes. The above accuracies are preliminary results of algorithmic logic validation under simulation and do not represent actual hardware deployment performance. This research is in the simulation validation phase, and the proposed architecture and arbitration mechanism can provide an algorithmic design reference for future MR-based health monitoring applications targeting the deaf and mute population.

Keywords

Mixed Reality, Multi-Sensor Fusion, Deaf and Mute Assistance, Sign Language Recognition, Health Monitoring, Decision Arbitration

Copyright © 2026 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

聋哑人群体在健康监护与社会沟通中面临独特挑战。据统计,我国听障人群规模庞大,他们在突发疾病或意外时难以通过语音呼救,沟通障碍也直接影响就医体验与日常社会参与。研究显示,临床监护中72%至99%的警报为假警报,由此导致的“警报疲劳”已被列为美国联合委员会国家患者安全目标[1]。传统的助听器与人工耳蜗主要解决听力补偿问题,无法实现手语与语音的双向转换;而现有的手语翻译工具多依赖智能手机应用,存在实时性差、使用不便等问题[2]。

近年来,混合现实(Mixed Reality, MR)与可穿戴传感技术的快速发展为解决上述问题提供了新思路。Stavropoulou等[3]的综述系统梳理了增强现实(AR)在ICU护理教育中的应用现状,指出AR/MR技术已成为护理教育与临床实践中新兴的研究方向。增强现实眼镜已在健康监测领域展现出应用潜力:通过集成环境传感器与健康监测传感器,可实现佩戴者生理信号的实时采集与显示[4]。苹果公司的Apple Vision Pro的传感器技术也为心理健康检测提供了新的研究视角[5]。在手语识别方面,已有研究利用智能眼镜的摄像头实现手语手势识别并转换为语音播放[6],也有基于肌电信号臂环的手势识别系统[7]。丁苗佳等[8]将信息化管理平台与可穿戴设备结合应用于慢性肾病患者自我管理,验证了“可穿戴设备+信息化平台”在护理实践中的可行性。

Jiang等[9]的系统综述全面梳理了可穿戴手势识别接口与算法,指出即便采用深度学习方法,手势识

别的可靠性与鲁棒性仍是持续挑战，特别是在实验室外的日常使用场景中。冉孟元等[10]基于惯性传感器融合算法实现了聋哑手语识别，蒋贤维等[2]对中国手语识别方法进行了系统综述。然而，现有研究大多将健康监测与手语识别作为独立功能实现，缺乏对二者协同决策的深入探讨。当生理数据与手势识别结果产生冲突时(如生理数据正常但识别到紧急手语，或生理严重异常但手势被误判为取消)，系统如何作出可靠决策，是一个亟待解决的问题。此外，多传感器系统中数据的时间同步、置信度评估与决策稳定性也是关键挑战[11]。

尽管现有研究在多传感器健康监测[4]与手语识别[6] [7]方面取得了进展，但多源数据在融合层的决策冲突问题仍缺乏系统性的解决方案框架。El Moutaouakil 和 Aroussi [12]的系统综述表明，AI 增强的数据融合方法已在无线传感器网络中得到广泛研究，但面向临床决策冲突的仲裁机制仍缺乏系统性探索。Tewari 等[13]的综述指出，远程健康监测系统在多传感器融合与实时决策方面仍面临挑战，特别是在跌倒检测、生命体征监测等场景中，多源数据的同步与冲突消解仍是亟待解决的问题。此外，Yang 等[14]的系统综述系统梳理了 ICU 临床警报管理的研究进展，指出当前管理策略主要集中在监护仪警报的调参优化、护理人员培训与操作规程标准化，但缺乏针对特殊患者群体(如聋哑患者)的定制化智能警报管理系统。当生理异常与手势指令同时发生时，多数系统采用简单的优先级规则或投票机制[11]，缺乏对置信度动态评估、生理-语义冲突消解及时序一致性的联合建模，导致在复杂或边界场景下易产生误报或漏判[1][14]。这种冲突处理机制的缺失，是影响系统可靠性的关键瓶颈，也是本文研究的出发点。

为此，本文设计并实现了一款面向聋哑人的 MR 智能眼镜生命监护系统架构与仲裁算法。主要贡献如下：1) 决策仲裁机制：提出三级决策仲裁机制，分别解决置信度不足、生理-视觉冲突与决策抖动问题，提高系统在复杂场景下的可靠性；2) 功能集成设计：将多传感器健康监测、手语识别与语音转换、分级警报与应急通信集成于 MR 眼镜平台，满足聋哑人群体的双重需求；3) 多线程并发架构：采用三线程并行架构实现传感器采集、决策处理与显示更新的流水线运行，保证系统实时性与数据一致性。需要说明的是，本研究当前处于算法仿真验证阶段，侧重于多源数据融合与决策冲突解决框架的可行性验证，所提逻辑准确率指标均为仿真环境下的逻辑验证结果，旨在排除硬件噪声干扰、集中检验逻辑正确性，不代表真实传感器硬件的识别性能。

2. 系统架构与设计

2.1. 总体架构

系统采用模块化分层架构，自下而上分为数据采集层、融合决策层和应用输出层。

数据采集层模拟了三种传感器数据源：IMU 惯性传感器(加速度、角速度、地磁数据)用于跌倒检测，PPG 光电容积脉搏波传感器(心率、血氧饱和度)用于生命体征监测——孙孟娇等[15]的系统综述指出，PPG 传感器与多传感器融合是实现持续健康监测的核心技术路径，多模态传感器融合可显著提升健康监测的准确性与鲁棒性——摄像头模组用于手语手势识别。系统定义的七类紧急手语包括：1) “求助/救命”(对应语音：救命，我需要帮助)、2) “SOS 求救”(对应语音：紧急求救，SOS)、3) “疼痛”(对应语音：我感到疼痛，需要医疗帮助)、4) “呼叫医生”(对应语音：请叫医生)、5) “需要水”(对应语音：我需要水)、6) “需要食物”(对应语音：我饿了，需要食物)、7) “需要如厕”(对应语音：我需要去洗手间)。其中前四类为紧急手语，触发警报响应；后三类为日常需求手语，仅触发语音播报，不触发警报。数据更新周期为 100 ms。

融合决策层是系统核心[10][16]，由传感器融合引擎、决策仲裁机制与中央决策单元构成。马禹良等[17]的研究指出，可穿戴设备与人工智能算法相结合可显著提高风险预测的精确性，本研究进一步将这一思路拓展至聋哑人监护场景中的多源数据冲突消解。传感器融合引擎负责多源数据的同步与特征提取；

决策仲裁机制处理数据冲突与置信度评估；中央决策单元依据仲裁结果进行警报分级与状态转移。其中，决策仲裁机制位于融合决策层内部，作为独立子模块与传感器融合引擎并行工作。

应用输出层整合 AR 显示、语音播报、触觉反馈与 4G/5G 通信四种输出通道，实现“视觉 + 听觉 + 触觉”多模态交互，并支持紧急情况下的自动呼救与云端数据上传。系统总体架构图如图 1 所示。

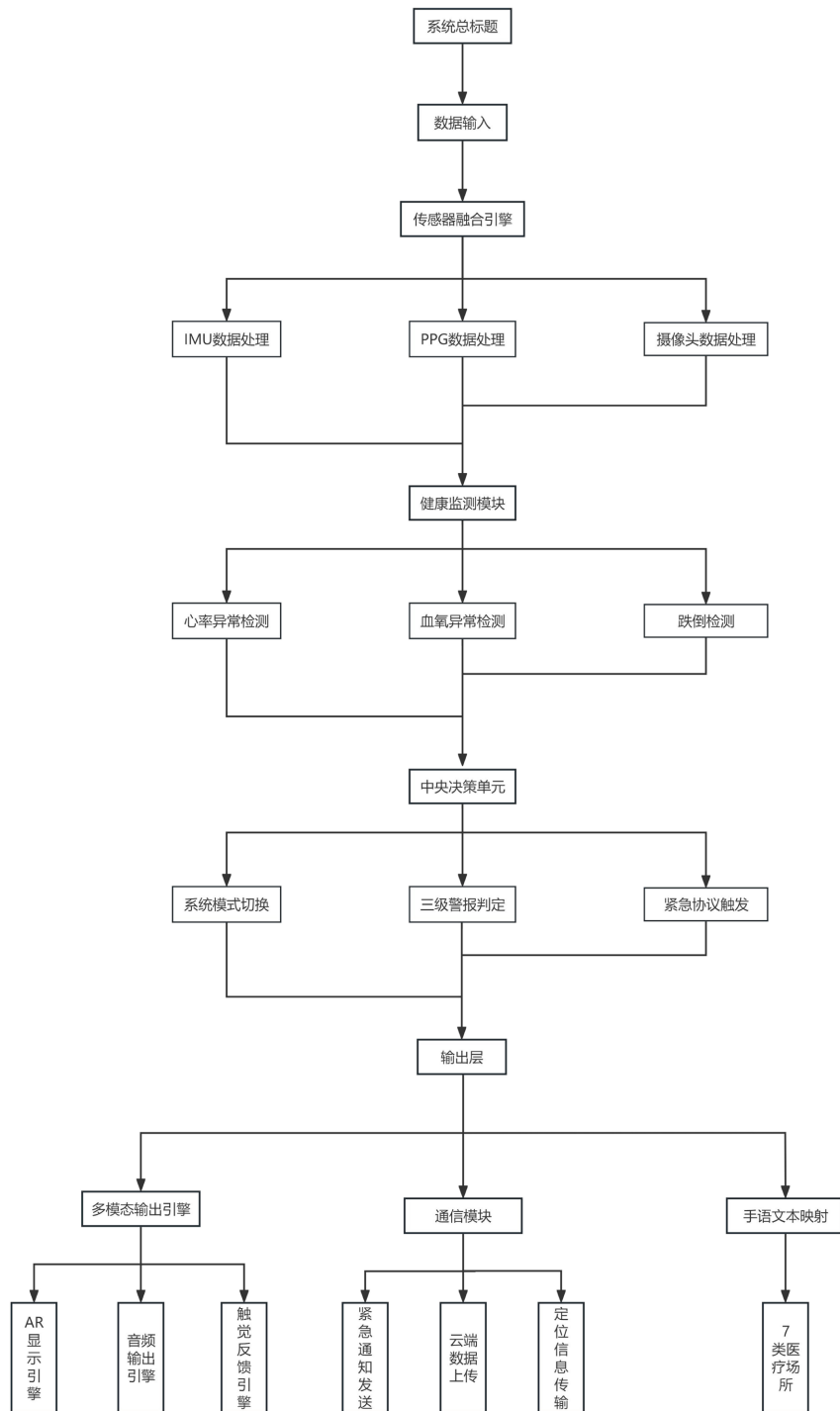


Figure 1. Overall system architecture diagram
图 1. 系统总体架构图

2.2. 三级警报与决策仲裁机制

系统定义了四级警报状态[18]：NONE (无警报)、MILD (轻度)、MODERATE (中度)、SEVERE (严重)。警报触发条件基于临床护理标准：心率 < 60 或 > 100 bpm 触发异常，心率 > 130 或 < 50 bpm 触发中度警报，血氧饱和度 $< 90\%$ 触发严重警报，跌倒事件同样触发严重警报。翟清华等[19]提出了一种可穿戴设备辅助的慢性病患者临床监测平台，验证了基于阈值分级的临床监测机制在慢病管理中的可行性，本研究进一步将分级机制拓展至多源融合场景。

为处理多源数据冲突，本文提出了三级决策仲裁机制。

2.2.1. 第一级：置信度加权机制

摄像头手势识别存在置信度输出。当置信度 ≥ 0.7 时，直接触发对应警报；当置信度 < 0.7 时，系统进入 3 秒等待窗口。若窗口内识别到相同手势且置信度提升，则触发警报；若识别到取消/误触手势，则抑制警报；若窗口超时仍未确认，则触发轻度警报。

置信度加权机制的完整处理流程如图 2 所示。该流程验证了低置信度场景下决策仲裁的有效性。



Figure 2. Confidence weighting mechanism processing flow and mild alert triggering

图 2. 置信度加权机制处理流程及轻度警报触发

2.2.2. 第二级：生理 - 视觉冲突解决规则

当生理数据正常但检测到紧急手势时，采用“手语优先”原则，触发轻度警报。当生理严重异常(心率 < 45 bpm 或血氧 $< 85\%$)但用户做出取消手势时，系统忽略取消指令[20]，按严重/中度警报响应——这一规则针对聋哑人可能无法有效表达不适的场景设计。

2.2.3. 第三级：时序一致性校验

系统维护一个 5 秒滑动窗口的历史决策记录。当相邻决策产生冲突(如警报级别跳变超过两级)时，进入 2 秒抖动抑制状态，输出最高警报级别，直至连续 3 次决策一致或抑制超时后恢复。

2.3. 多线程并发架构

为实现实时响应，系统采用多线程并发架构：

- 1) 传感器模拟线程(周期 100 ms)：生成并更新 IMU、PPG 和摄像头数据。该线程通过 Sensor Fusion

Engine 类中的 `update IMU Data()`、`update PPG Data()`和 `update Camera Data()`方法更新共享数据，每个方法内部使用 `std::lock_guard<std::mutex>`对 `data_mutex` 互斥锁进行加锁，确保写操作的原子性。共享数据结构 IMU Data、PPG Data 和 Extended Camera Data 存储于 Sensor Fusion Engine 私有成员中，任何时刻只有一个线程可修改数据。

2) 决策处理线程(周期 500 ms): 通过 `Sensor Fusion Engine::get Fused Data()`方法读取融合后的传感器数据。该方法在读取前同样对 `data_mutex` 加锁，获取数据副本后立即释放锁，避免长时间占用锁资源导致传感器线程阻塞。读取后调用 Health Monitor 与 Decision Arbitration Mechanism 进行健康判定与决策仲裁，更新系统状态。

3) 显示更新线程(周期 1000 ms): 独立刷新 AR 界面，展示健康数据与警报状态。该线程通过 Central Decision Unit 获取当前系统模式与警报级别，不直接访问传感器共享数据，因此不参与 `data_mutex` 竞争，避免了显示刷新对传感器采集与决策处理的影响。

线程间同步机制：传感器模拟线程与决策处理线程通过 `std::condition_variable` 实现条件同步——传感器线程完成数据更新后调用 `notify_one()`通知决策线程，决策线程调用 `wait()`等待新数据到达，避免空轮询造成的 CPU 资源浪费。各工作线程封装了独立的 `try-catch` 异常捕获模块，未捕获异常将触发线程安全重启并记录错误日志，确保单线程故障不影响整体系统运行。线程间通信通过 `std::atomic<bool>`类型的 `is_running` 标志控制线程循环的启停，保证系统关闭时各线程能够一致退出。

3. 系统实现

系统基于 C++17 标准开发，运行于 Windows 10/11 环境。核心类设计如下：

Sensor Fusion Engine (传感器融合引擎)：实现跌倒检测(加速度幅值 < 2.5 判定为跌倒)、体征异常检测(心率超出 60~100 bpm 范围或血氧低于 95%判定为异常)和紧急手势判断。

Decision Arbitration Mechanism (决策仲裁机制)：封装三级仲裁规则，包括置信度仲裁、冲突解决与时序一致性校验三个核心方法。其中，生理-视觉冲突解决规则参考了王力等[20]提出的改进证据理论在多传感器目标识别中的冲突处理方法；时序一致性校验机制的设计借鉴了任子良等[21]基于二次判断的无线多传感器跌倒监测系统的决策抖动抑制思路，但本研究进一步将其扩展至生理与视觉异源数据的协同场景。

Central Decision Unit (中央决策单元)：集成 Health Monitor 进行警报分级，管理系统在正常模式与应急模式间的状态转换。

Audio Output Engine (音频输出引擎)：支持语音队列播报与紧急重复，采用独立线程处理音频队列。

Haptic Feedback Engine 与 AR Display Engine：分别实现触觉震动反馈与视觉 AR 警示。

系统状态机定义了从“未初始化”到“已关闭”的八个状态(`UNINITIALIZED` → `INITIALIZING` → `STANDBY` → `RUNNING` ⇌ `EMERGENCY` → `SHUTTING_DOWN` → `SHUTDOWN`)，确保启动、运行、应急和关闭流程的规范转换。其中 `RUNNING` 与 `EMERGENCY` 为双向切换关系：当中央决策单元判定存在有效警报时，系统由 `RUNNING` 转入 `EMERGENCY`；当警报解除且持续确认 3 个决策周期(1500 ms)无新警报时，系统切回 `RUNNING`。

系统启动成功界面如图 3 所示，界面显示系统版本号、健康监测标准及三级决策仲裁规则。

系统运行过程中，当检测到中度及以上级别警报时，自动触发多模态输出。如图 4 所示，中度警报场景下系统同时激活黄色 AR 警示、触觉震动(间歇模式)和 4G/5G 紧急通信。

系统收到中断信号后安全关闭，关闭流程如图 5 所示，各线程正常退出，无资源泄漏。

```
=====
=== MR眼镜健康监测与手语转语音系统（演示版） ===
版本：1.0
=====
健康监测标准：心率 60-100bpm, 血氧 ≥95%
决策仲裁规则：
  1. 置信度加权机制（阈值≥0.7触发）
  2. 生理-视觉冲突解决（手语优先/忽略取消）
  3. 时序一致性校验（5秒防抖）
提示：按 Ctrl+C 可安全退出系统

初始化音频输出引擎...
MR眼镜系统(演示版)初始化中...
[状态机] 未初始化 → 初始化中
[状态机] 初始化中 → 待机

[系统] 进入应急模式，当前警报级别：严重警报
[触觉反馈] 启动震动马达：强震动-持续
[AR警示][红色] 激活三级紧急协议：SOS通信+震动警报+红色AR警示      [4G/5G通信] 发送紧急通知：激活三级紧急协议：SOS通信+震动警报+
红色AR警示
[扬声器] 播放："警告！检测到跌倒！立即启动紧急救助！"
[云服务] 上传数据：2026-06-26 22:46:33 - 严重警报 - 跌倒事件
[状态机] 待机 → 运行中

=====
系统启动完成！决策仲裁机制已就绪
- 置信度阈值：0.7
- 手势等待窗口：3000ms
- 抖动抑制窗口：5s
=====
```

Figure 3. System startup interface
图 3. 系统启动界面

```
[决策仲裁] 置信度充足(0.963440)，立即触发警报
[触觉反馈] 启动震动马达：中等震动-间歇
[AR警示][黄色] 激活二级协议：通知紧急联系人+黄色AR警示      [4G/5G通信] 发送紧急通知：激活二级协议：通知紧急联系人+黄色AR警示
[云服务] 上传数据：2026-06-26 22:47:54 - 中度警报 - 紧急手势
```

Figure 4. Multi-modal output interface for moderate-level alerts
图 4. 中度警报多模态输出界面

```
[决策仲裁] 置信度充足(0.704849)，立即触发警报
[触觉反馈] 启动震动马达：轻微震动-短脉冲
[AR警示][蓝色] 激活一级协议：语音提示+蓝色AR警示      [状态机] 应急 → 运行中
[扬声器] 紧急重复："紧急求救！检测到紧急手语指令！"
[扬声器] 播放："紧急求救！检测到紧急手语指令！"

接收到中断信号，正在关闭系统...
[状态机] 运行中 → 关闭中
terminate called without an active exception
```

Figure 5. System safe shutdown interface
图 5. 系统安全关闭界面

4. 实验与结果

4.1. 测试环境

系统测试基于软件仿真模式，运行环境为 Windows 11 操作系统、Intel Core i7-12700H 处理器、16 GB 内存。传感器数据由正态分布随机数生成器模拟产生(心率均值 75 bpm、标准差 8 bpm；血氧均值 98%、标准差 1%)，异常事件通过概率触发方式植入(跌倒概率 0.5%，生理异常每 150 周期触发一次，手语识别概率 3%)。

本研究在算法开发阶段优先采用软件仿真，主要基于以下考虑：1) MR 眼镜硬件平台尚无统一标准，

不同设备的传感器噪声特性与采样精度差异显著，仿真环境能够排除硬件干扰，集中验证融合决策算法的逻辑正确性与仲裁规则的有效性；2) 真实聋哑人用户实验涉及伦理审批流程与受试者招募周期，需在算法定型后方可系统开展。因此，本文以软件仿真作为算法可行性评估的起点，所有逻辑准确率与响应时间指标均为仿真环境下的初步结果，不代表真实硬件部署表现。后续工作将基于本框架向真实传感器硬件迁移，并进行实地用户测试。

4.2. 功能测试

为全面验证系统在复杂混合场景下的决策可靠性，本研究设计了七类典型混合医疗场景用于仿真测试：1) 跌倒 + 紧急手势(IMU 检测到跌倒的同时摄像头识别到“求助”手语)；2) 跌倒 + 取消手势(IMU 检测到跌倒但用户做出“取消”手势)；3) 心率异常 + 紧急手势(心率 > 130 bpm 且摄像头识别到“疼痛”手语)；4) 血氧异常 + 取消手势(血氧 < 90%且用户做出“取消”手势)；5) 生理严重异常 + 取消手势(心率 < 45 bpm 或血氧 < 85%且用户做出“取消”手势，用于验证“忽略取消”规则)；6) 手势识别置信度不足(摄像头识别置信度 < 0.7，用于验证置信度加权机制)；7) 决策快速抖动(警报级别在 1 秒内频繁变化，用于验证时序一致性校验)。

通过植入模拟事件对系统核心功能进行测试，结果如表 1 所示。在仿真环境下，各单项功能模块的逻辑触发准确率均达 100% (各 10 次测试)，混合异常场景下分级警报逻辑准确率为 96.7% (30 次测试中 29 次正确)。

Table 1. System functional test results
表 1. 系统功能测试结果

测试项	测试方法	测试次数	成功识别次数	逻辑准确率
跌倒检测	植入模拟跌倒事件(加速度幅值 < 2.5)	10	10	100%
心率异常	植入心率 > 130 或<50 bpm 数据	10	10	100%
血氧异常	植入血氧 < 90%数据	10	10	100%
手语触发	随机触发 7 类紧急手语	10	10	100%
分级警报	混合异常场景测试	30	29	96.7%

对比基线：无仲裁机制的性能评估

为量化决策仲裁机制的实际贡献，本文设置了“无仲裁版本”(仅依赖单次传感器读数与简单阈值比较，不引入置信度加权、冲突解决与一致性校验)作为对照组，在完全相同的 30 次混合异常仿真测试下进行对比。无仲裁版本因无法处理同时触发、手势误读与信号抖动等场景，共出现 4 次误报警与 2 次漏判，误报率约为 13.3%，漏判率约为 6.7% (以触发错误警报或未触发应报警告为统计口径)。而引入三级仲裁机制后，误报与漏判合计降至 1 次(分级警报错误)，整体逻辑错误率由 20.0%降至 3.3%，初步验证了仲裁机制在提升系统决策可靠性方面的有效性。以上数据基于仿真环境，旨在说明仲裁逻辑的优化效果，真实硬件环境下的绝对误报率需进一步实测。所有准确率指标均为仿真环境下的逻辑验证结果，不代表真实传感器识别性能，后续将在硬件平台上进一步验证。

4.3. 稳定性测试

系统在软件仿真模式下连续运行 24 小时无崩溃、无卡顿；72 小时连续运行后经内存监测工具检查，无内存泄漏。从异常发生到警报触发的平均响应时间小于 500 ms (此处响应时间指从传感器数据采集、

融合仲裁到首次警报触发的端到端时延,不包含 2.2.1 节所述的低置信度场景下 3 秒人工确认窗口)。多线程并发运行期间,互斥锁机制有效保证共享数据的一致性,未出现死锁或数据竞争。

5. 讨论

实验结果验证了系统在多源数据融合与冲突决策方面的有效性。置信度加权机制在低置信度场景下通过等待窗口降低了逻辑误报率;生理-视觉冲突规则在生理严重异常但用户无力表达时保证了安全响应;时序一致性校验有效抑制了随机噪声引起的决策抖动[21]。欧庆于等[18]指出,基于多传感器的嵌入式安全监控体系需实现传感器集成、数据处理与决策执行的协同工作,本研究的架构设计正是对这一理念的实践与拓展。

然而,本研究仍存在以下局限:1) 传感器数据为软件模拟生成,未在真实硬件环境下验证信号质量与噪声特性;2) 手语识别依赖预设的七类手势枚举,未引入深度学习模型实现全词汇覆盖;3) 决策仲裁机制的阈值参数(置信度 0.7、等待窗口 3 秒、抖动抑制 2 秒)基于经验设定,缺乏真实场景数据驱动的优化。

针对上述局限,未来工作将从三方面推进:1) 集成真实 MAX30102 传感器与 MPU6050 惯性单元进行实地数据采集与验证;2) 引入 MediaPipe 框架实现基于视觉的实时手语关键点检测与深度学习分类;3) 与湖州市特殊教育学校合作开展聋哑人用户实测,基于采集的真实数据采用网格搜索或贝叶斯优化方法对决策阈值进行系统调优。

6. 结论

本文提出并验证了一个面向聋哑人 MR 智能眼镜生命监护场景的决策仲裁算法,核心创新在于通过三级决策仲裁机制(置信度加权、生理-视觉冲突解决、时序一致性校验)系统性地解决多源数据融合中的决策冲突问题,提高了系统在复杂混合场景下的决策可靠性与安全响应能力。仿真实验结果表明,各功能模块在模拟环境下的逻辑触发准确率达 96.7%以上,响应时间小于 500 ms,初步验证了所提仲裁算法在解决多源数据冲突方面的可行性与有效性。这些结果为后续向真实传感器硬件迁移奠定了算法基础。本研究所提决策仲裁框架具有良好的可迁移性,可直接应用于其他多传感器融合可穿戴设备或健康监护场景。未来工作将聚焦于:1) 集成真实 MAX30102 传感器与 MPU6050 惯性单元进行实地数据采集与验证;2) 引入 MediaPipe 框架实现基于视觉的实时手语关键点检测与深度学习分类;3) 与湖州市特殊教育学校合作开展聋哑人用户实测,基于真实数据对决策阈值进行系统调优。

基金项目

湖州学院省级大学生创新创业训练计划资助项目(项目编号: S202513287054)。

参考文献

- [1] Sendelbach, S. and Funk, M. (2013) Alarm Fatigue: A Patient Safety Concern. *AACN Advanced Critical Care*, **24**, 378-386. <https://doi.org/10.4037/nci.0b013e3182a903f9>
- [2] 蒋贤维, 孙计领, 张艳琼, 等. 中国手语识别方法及技术综述[J]. 现代特殊教育, 2024(6): 47-58.
- [3] Stavropoulou, A., Chu, Y., Connolly, M., et al. (2025) Augmented Reality in Intensive Care Nursing Education: A Scoping Review. *Nurse Education Today*, **83**, Article 104263.
- [4] 奥斯特豪特集团有限公司. 交互式头戴目镜上的本地广告内容[P]. 中国专利, CN102906623A. 2013-01-30.
- [5] Zhang, Z., Giménez Mateu, L.G. and Fort, J.M. (2023) Apple Vision Pro: A New Horizon in Psychological Research and Therapy. *Frontiers in Psychology*, **14**, Article 1280213. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1280213>
- [6] 深圳先进技术研究院. 智能眼镜及基于智能眼镜的语音交流系统及方法[P]. 中国专利, CN103310683B. 2016-06-08.

-
- [7] Hasan, H.N. (2017) A Cost Effective Deaf-Mute Electronic Assistant System Using Myo Armband and Smartphone. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, **6**, 950-954.
- [8] 丁苗佳, 杨燕茹, 沈水娟, 等. 信息化管理平台结合可穿戴设备在慢性肾病患者自我管理中的应用[J]. 护理学杂志, 2024, 39(22): 116-120.
- [9] Jiang, S., Kang, P., Song, X., Lo, B. and Shull, P. (2022) Emerging Wearable Interfaces and Algorithms for Hand Gesture Recognition: A Survey. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, **15**, 85-102. <https://doi.org/10.1109/rbme.2021.3078190>
- [10] 冉孟元, 刘礼, 李艳德, 等. 基于惯性传感器融合控制算法的聋哑手语识别[J]. 计算机科学, 2021, 48(2): 231-237.
- [11] Zuo, K., Li, X., Li, X., Wang, K., Gao, T. and Shen, T. (2026) Multi-Sensor Fusion with Triple Reliability Evaluation for Human Activity Recognition. *Measurement*, **257**, Article 118580. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118580>
- [12] El Moutaouakil, S. and Aroussi, H.K. (2025) The Impact of Integrating Artificial Intelligence Techniques into Data Fusion for Wireless Sensor Networks: A Systematic Literature Review. *2025 International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, Rabat, 20-21 October 2025, 1-7. <https://doi.org/10.1109/sita67914.2025.11273553>
- [13] Tewari, A., Kalbande, D. and Khopkar, S. (2026) Remote Healthcare Monitoring for the Aging Population: A Systematic Review of Datasets, Techniques, and Challenges. *2026 IEEE International Conference on Emerging Computing and Intelligent Technologies (ICoECIT)*, Hyderabad, 28-29 January 2026, 1-6. <https://doi.org/10.1109/icoecit68303.2026.11497021>
- [14] Yang, C., Gao, P., Ji, H., Luo, D., Chen, H., Hu, Q., *et al.* (2025) Clinical Alarm Management in Intensive Care Units: A Scoping Review. *Nursing in Critical Care*, **30**, e70042. <https://doi.org/10.1111/nicc.70042>
- [15] 孙孟娇, 张斌, 孙美晨, 等. 持续健康监测可穿戴设备技术融合和临床应用与发展挑战[J]. 中国预防医学杂志, 2025, 26(5): 535-541.
- [16] 王刚, 莫凌飞. 基于多传感器融合的低功耗人体活动识别方法[J]. 传感器与微系统, 2023, 42(3): 132-135.
- [17] 马禹良, 吴可可, 方丹东, 等. 可穿戴设备在重症监护室中的应用研究进展[J]. 医学研究与战创伤救治, 2025, 38(8): 880-885.
- [18] 欧庆于, 罗芳, 赵俊阁. 基于多传感器的嵌入式安全监控体系研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 114-116.
- [19] 翟清华, 田丽丽, 王永瑞, 等. 一种可穿戴设备辅助的慢性病患者临床监测平台与方法[P]. 中国专利, CN113384241B. 2023-01-31.
- [20] 王力, 白静. 改进的证据理论在多传感器目标识别中应用[J]. 科技通报, 2016, 32(7): 134-137+183.
- [21] 任子良, 李勇. 基于二次判断的无线多传感器跌倒监测系统[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(5): 1785-1789.