科学技术与教育 2026年第10期
ISSN: 3079-4455

基于异构嵌入式的居家养老多风险智能守护系统研究

陈智珍，杨梅玉，汪思晨，陈亮亮*
江西科技师范大学信息工程学院，江西南昌，中国
*通讯作者

【摘要】针对现有居家养老监护设备存在监测维度有限、高度依赖云端算力、误报警现象突出、适老化水平不足等现实问题，本文提出一套异构边缘架构的居家养老五维感知智能监护方案。系统采用瑞萨 RA6M5 主控搭配 K230AI 协处理器的硬件架构，集成视觉分析、离线语音交互、燃气环境监测、生理体征采集以及饮用水水质检测五大感知模块，全部监护业务均在终端本地完成运算决策，无需依赖云平台。视觉模块采用轻量化 YOLOv5n 网络完成老人跌倒识别；环境风险、生理状态信息由各类传感器完成采集；通过决策级加权融合算法完成多源信息综合判决，同时增设跌倒事件语音二次确认机制抑制误报。实测结果表明，本系统跌倒识别综合准确率可达 97.0%，基础模式误报率 4.2%；叠加二次语音确认流程后误报率降低至 2.8%。该系统可在断网条件下实现本地风险判别与多类型居家安全防护，能够适配复杂的家庭养老环境，可为同类嵌入式养老监护装备开发提供参考。

【关键词】瑞萨 RA6M5；五维感知；居家养老；跌倒检测；多传感器信息融合
【项目】2026 年江西省大学生创新训练计划项目（项目编号：S202611318089）

1.引言

从现实情况来看，人口老龄化程度不断加深，居家养老成为了中国养老体系里的主要模式；其中跌倒、燃气泄漏、身体指标异常以及饮用水质量隐患等居家安全风险，经常会被独居老人遇到，也就是说，这些情况对价格不高、用起来可靠的智能看护设备提出了迫切需求。据统计，中国 65 岁以上老年人每年跌倒发生率约为 30%，跌倒已经成了老年人伤害死亡的首位原因[1]。

现在，智慧养老产品已经有不少落地应用，不过放到真实的居家场景里，还是能看出一些明显不足：首当其冲是监测功能比较单一，很多设备只能做跌倒检测或者气体监测，没法把多个方面、多种风险放在一起防护；其次是太依赖云端网络来计算，会出现响应慢、数据隐私容易泄露，还有断网后没法工作等问题；第三就是算法的稳定性和识别精度都不够，误报和漏报的情况比较突出；最后，适合老年人的设计比较薄弱，操作流程和交互方式不太符合老年人的使用习惯，实际推广和用起来都受到限制。

面对居家养老监护的现实需求，学术界已开展大量相关研究。苏彩珍设计了面向独居老人的健康监测系统[2]，孙雷明基于 NB-IoT 实现了老人健康实时监测[3]，但该类工作整体监测维度有限，智能分析环节大多依赖网络上传与远程平台完成。Jiao 等人研究了基于多模态音视频决策融合的跌倒检测系统[4]，Durgun 等人基于 TinyML 设计了跌倒检测系统[5]，但功能定位单一，难以覆盖气体泄漏、体征异常等其他居家风险。Buades-Rubio 等人系统综述了基于计算机视觉的老年人活动识别与跌倒检测[6]，Prasad 等人提出了基于 TinyML 的实时跌倒检测系统[7]，但多源信息融合策略较为简单，多采用阈值判决方式。刘莉采用 MPU6050 惯性传感器搭建跌倒检测系统，依靠穿戴设备采集人体姿态信息实现跌倒判别[8]，但这类穿戴式方案存在老人佩戴依从性差、遗忘佩戴的问题。

综上，现有研究在生理监护、跌倒检测与多传感器集成方面已取得较多成果，但多源信息本地融合、多风险协同防护能力仍显不足。针对上述问题，本文提出一套基于本地边缘计算的五维感知一体化居家养老守护解决方案，构建视觉、语音、气体、体征、水质五维感知架构，将全部监护业务逻辑部署于终端本地，引入多传感器加权融合判决算法与跌倒二次语音确认机制，有效降低误报率。

为了把上面说到的这些功能都撑起来，本文就把瑞萨 RA6M5 开发板拿来当边缘端的主控平台用；RA6M5 用的是 Arm Cortex-M33 内核，主频能跑到 200MHz，里面还带了

2MBFlash 和 640KBSRAM，反过来看同类单片机，Flash 多数只有 512KB 到 1MB，SRAM 一般也就在 256KB 上下，所以这颗芯片在存储容量和运算能力上，优势还是比较明显的[9]；除此之外，RA6M5 还能支持好几种低功耗模式，待机功耗可以低到 50mW，TrustZone 安全扩展它也有，I2C、UART、SPI、CAN 这些通信接口也都配上了，这样一来，多传感器融合和本地智能决策就有了较为完善的硬件基础。

2.系统实现原理

本文设计的居家养老智能守护系统采用边缘本地处理架构，全部感知数据的采集、融合与告警决策均在终端本地完成，不依赖云端服务器。系统采用 RA6M5 主控与 K230AI 协处理器构成的异构架构，由视觉感知、语音交互、气体监测、体征监测、水质监测五大模块组成，系统整体结构如图 1 所示。

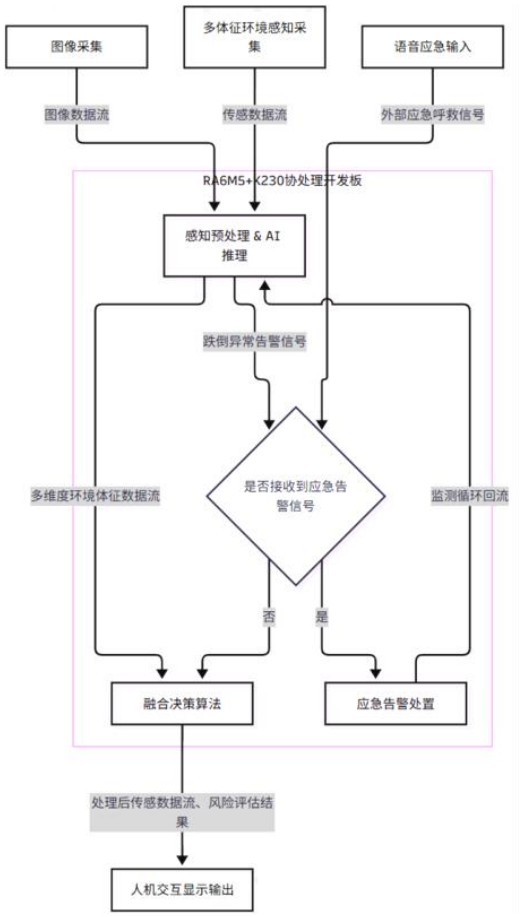


图 1.系统总体结构图

从这张图里能看出来，K230 芯片会自己将图像推理这部分做完，然后只把人体姿态和跌倒告警的结果送到 RA6M5 那边；而气体、体征、水质这些传感器，是直接挂在 RA6M5 上的，所有环境和生理传感数据都会汇总到主控单元里，再一起进行处理；跌倒告警、燃气超限告警、生理体征异常告警，还有语音紧急呼救，这四类告警事情也都汇总到 RA6M5 主控这里，然后由主控去统一安排 GPIO 声光输出和 OLED 屏幕提示，每个传感模块并不会自己去控制告警；两颗芯片之间是通过 UART 接口来通信的，波特率设成 115200bps，这样就能让数据传输更加可靠。

2.1 主控单元

主控单元在系统里算是一个比较核心的部分，它的性能高低，会直接影响到系统能汇聚多少数据，也会影响到告警调度快不快；本文就把瑞萨 RA6M5 微控制器拿来当系统主控，再通过比较丰富的外设接口，把它和各个传感器模块连接起来；RA6M5 基于 ArmCortex-M33 内核，主频可以达到 200MHz，内部有 2MBFlash 和 640KBSRAM，在同类单片机中，它的存储容量优势比较明显[8]；这颗芯片支持 TrustZone 安全扩展，可以为老年人健康数据的本地存储提供安全保障，也支持 I2C、UART、SPI、CAN 等多种通信接口，连接各类传感器模块就会比较方便。

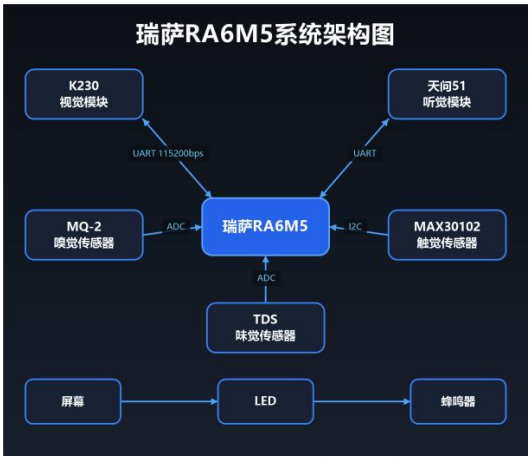


图 2.RA6M5 整机硬件模块连接示意图

RA6M5 会把采集到的数据先放到内部 SRAM 里缓存一下，处理完之后再显示到 OLED 屏幕上；而声光告警这块，是由主控单元通过 GPIO 端口去驱动蜂鸣器和 LED 来实现的。针对不一样的告警类型，系统会用不同的提示办法：跌倒告警的时候，蜂鸣器会连续短促地响，LED 也会高频闪烁；燃气超标告警的时候，蜂鸣器会长鸣，LED 保持常亮；体征异常告警的时候，蜂鸣器会间歇地响，LED 低频闪烁；语音紧急呼救则会触发最高优先级的告警提示，这样老人和家属

就能比较快地分辨出是哪种告警类型。

告警优先级从高到低依次为：语音紧急呼救告警、跌倒紧急告警、燃气超标告警、体征异常/水质超标提醒。当多个告警事件同时发生时，系统按照优先级从高到低处理，高优先级告警可中断低优先级告警的提示。RA6M5 整机硬件模块连接如图 2 所示，系统样机整机实物如图 3 所示。

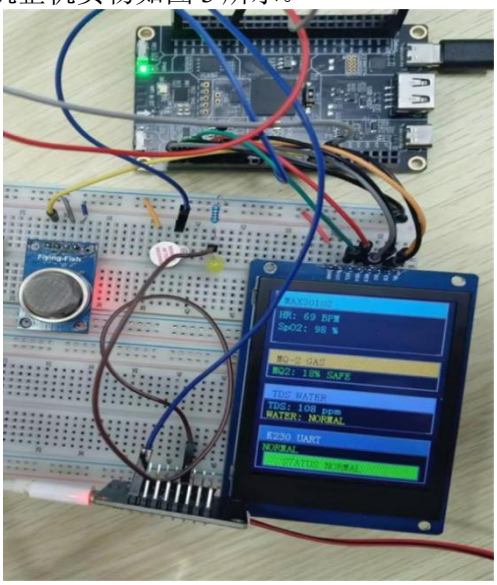


图 3.系统样机整机实物图

2.2 视觉感知模块

视觉感知模块是本系统里的一个核心部分，系统做跌倒检测，主要依靠的就是 K230 芯片中的 KPU 加速器，KPU 加速器是一种通用的神经网络处理器，它里面带有卷积、批归一化、激活与池化这些运算单元，能对人体进行实时检测，YOLO 系列算法它也能支持[10]。在嵌入式端部署神经网络时，通常会选轻量化模型来用，这样既能让网络性能保持住，又能把计算复杂度降下来。

嵌入式端的算力和存储都比较有限，本文就把轻量化的 YOLOv5n 模型选来当作跌倒检测的基础模型；YOLOv5n 算是 YOLOv5 系列里最小的一个版本，它的输入分辨率是 320×320 像素，模型参数量大概有 1.9M，经过 INT8 量化以后，模型大小差不多是 2.3MB。为了让模型能更好地适配 K230 的 KPU 加速器，本文又把模型做了 INT8 整数量化处理，量化后模型的精度损失还不到 2%，这样系统需求也就满足了。

K230 会把人体检测框的坐标和置信度先输出出来，然后系统就按下面这个办法去解算人体姿态的倾斜角：假设检测框的宽是 w，高是 h，再把人体高宽比定义成 r=h/w，人体站立的时候，高宽比会比较大，人体跌倒的时候，高宽比就会明显变小；按照事先设好的角度和高宽比之间的对应关系，就能估算出人体躯干和竖直方向之间的夹角 θ 。另外，根据连续帧之间检测框位置的变化量，还可以估算出人体运动的等效加速度。

需要指出的是，单目视觉解算等效加速度存在一定估算误差，因此本文通过多传感器融合对跌倒判定进行容错，融合信息包括 MAX30102 采集的心率与血氧数据以及姿态变化信息，以降低单一视觉通道误判的影响。主控单元结合上述信息与预设阈值判别是否发生跌倒，若判定为跌倒则及时向应急处理模块发送告警信号。K230 识别老人摔倒的效果如图 4 所示。

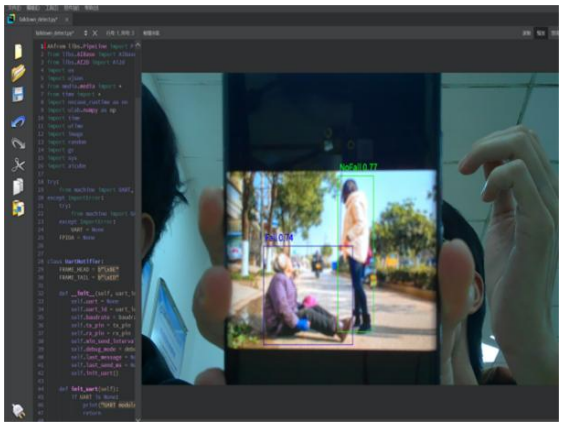


图 4.K230 识别老人摔倒效果图

经实测，K230 在 320×320 输入分辨率下的单帧推理耗时约 35ms，推理帧率约 28FPS，满足实时检测需求。[8]

2.3 语音交互模块

语音交互模块用于接收老人的语音指令，根据指令内容执行相应动作并及时反馈。本文采用天问 51 语音模块，该模块集成语音识别与合成功能，支持离线语音控制，无需联网即可工作，符合本文的边缘本地处理架构。

模块在初始阶段预设常用指令词库，包含”开灯”“关灯”“紧急求助”“查询体征”“查询时间”等十余条常用指令。老人说出指令后，模块进行语音识别并计算匹配度，选择匹配度最高的指令作为识别结果；若均不匹配，则提示未识别成功。随后进入指令执行环节，通过 UART 将指令 ID 发送至主控单元，由主控单元执行相应控制操作。

模块一开始就会把常用指令词库预设好，里面放了“开灯”“关灯”“紧急求助”“查询体征”“查询时间”等十多条常

用指令；老人把指令说出来以后，模块就会去做语音识别，还会把匹配度算出来，然后把匹配度最高的那条指令选出来，当作识别结果；要是这些指令都匹配不上，模块就会提示没有识别成功；再往后就进入到指令执行这一步，模块会通过 UART 把指令 ID 发到主控单元那边，再由主控单元去执行对应的控制操作。

该模块既支持日常语音交互，也承担老人主动语音应急呼救功能，与跌倒自动检测共同构成系统的两条告警触发路径。当“紧急求助”指令经 UART 上传至主控单元后，直接触发最高优先级告警事件。

2.4 气体监测模块

气体监测模块采用MQ-2半导体气体传感器，可检测液化气、丙烷、氢气、烟雾等多种可燃气体与烟雾。MQ-2 传感器具有检测范围广、灵敏度高、成本低等特点，适用于居家燃气泄漏监测场景。

气体传感器数据经采集后进行浓度判断，系统设置两级告警阈值：若超过第一级预警阈值，则进行语音提醒，应对低风险情况；若达到第二级危险阈值，则立即触发声光告警，并可输出控制信号实现排气扇联动，以迅速处理险情，保障老人安全。

受实验条件限制，MQ-2 两级告警阈值基于样机实测经验进行标定。需要说明的是，MQ-2 半导体气体传感器存在零点漂移问题，长期使用后需要定期校准；排气扇联动目前仅在硬件层预留输出接口，样机尚未开展排气扇联动的实际调试。

2.5 体征监测模块

体征监测模块选用 MAX30102 心率血氧传感器，通过光电容积脉搏波描记法（PPG）实现心率与血氧饱和度的无创检测。传感器模块通过 I2C 接口与主控单元连接，主控单元定期读取数据并显示于屏幕。

为抑制运动伪影带来的测量噪声，本文在软件层面采用滑动平均滤波与尖峰检测相结合的处理方法：首先对原始 PPG 信号进行 5 点滑动平均滤波，去除高频噪声；然后通过检测脉搏波峰值间隔计算心率；最后利用红光与红外光的交流/直流分量比值估算血氧饱和度。

体征监测模块选用了 MAX30102 心率血氧传感器，它通过光电容积脉搏波描记法（PPG）来做心率和血氧饱和度的无创检测；系统把正常心率范围设定在 60～100 次/分钟，正常血氧饱和度范围设定在 95%～100%，检测值一旦超出正常范围，系统就会自动记录下异常，并且触发提醒；另外，MAX30102 在佩戴过程中容易受到肢体运动扰动，测量信号就会出现波动。传感器模块会通过 I^2C 接口跟主控单元连到一起，主控单元隔一段时间就会把数据读出来，然后再显示到屏幕上——这里还要说明一下，MAX30102 在佩戴的时候，肢体运动很容易干扰到它，测量信号就会跟着出现波动。本文后面会通过软件滤波，把运动带来的尖峰噪声给抑制下去，这样居家状态下心率血氧检测的可靠性就能得到提高；并且一旦检测到心率或者血氧超出了正常范围，系统就会自动把异常记录下来，并且触发提醒。

2.6 水质监测模块

水质监测模块采用 TDS 传感器，通过测量水的电导率间接反映水中溶解物质的总量。TDS 值越高，表示水中溶解的固体物质越多。

GB5749-2022《生活饮用水卫生标准》里规定：生活饮用水的 TDS 限值是 1000mg/L。系统把居家实际情况和安全裕度也考虑了进去，就把 500ppm 设成了安全阈值；检测值要是超过这个阈值，系统就会用语音和屏幕去提示老人，让老人把饮用水更换掉。

需要说明的是，TDS 仅作为饮用水水质的辅助参考指标，不能完全替代饮用水水质的全面检测。

2.7 多传感器融合判决算法

针对居家场景监测干扰因素多、单一传感器误报率高的问题，本系统设计了一种面向 MCU 资源约束的轻量级决策级加权融合策略。融合的信息源包括：视觉跌倒置信度 Cv、心率异常程度 Ch、血氧异常程度 Cs。融合风险值 R 定义为：

$$R=w1Cv+w2Ch+w3Cs \quad (1)$$

其中，w1、w2、w3 为权重系数，且满足：

$$w1+w2+w3=1 \quad (2)$$

权重取值依据各通道在跌倒判定中的贡献程度与可靠性确定：视觉通道为跌倒检测主通道，权重应高于生理辅助通道；心率与血氧为辅助验证通道，权重应低于视觉通道。

本文采用网格搜索法进行参数寻优，以 0.05 为步长，在 $w1 \in [0.5,0.8]$、$w2 \in$

[0.1,0.3]、w3∈[0.1,0.3]的范围内进行搜索，以 F1 分数为优化目标。基于预采集的测试样本进行离线寻优，最终确定的最优权重参数为：w1=0.7，w2=0.15，w3=0.15。

判决阈值设为两级：高置信度阈值 RH=0.7，当 R≥RH 时判定为高置信度跌倒事件，立即触发紧急告警；低置信度阈值 RL=0.4，当 RL≤R<RH 时判定为低置信度事件并启动二次确认；当 R<RL 时判定为无跌倒事件。

为了把误报率再降低一些，本文就把跌倒二次语音确认的闭环机制给设计了出来：倘若系统判定出来的是高置信度跌倒事件，那么紧急告警就会被马上触发，二次确认流程就不会再走了；如果判定出来的是低置信度跌倒事件，系统就会把二次确认机制启动起来，通过语音去问老人现在是什么状态：要是老人用语音回答说自己没有跌倒，那么告警就会被撤销掉；要是老人没有应答，或者老人确认自己跌倒了，那么紧急告警就会继续上报。

3.系统测试

将上述各硬件模块与软件算法整合后，构成居家养老五维感知智能守护系统。为验证整机功能完整性与协同运行能力，本文对系统进行了整体联调测试与跌倒识别性能测试。

3.1 整体功能联调

联调测试内容包括五维感知模块的数据采集、主控单元的数据汇聚与判决、声光告警输出、OLED 显示更新与语音播报等环节。

联调测试结果表明，各感知模块均可稳定完成数据采集，并将数据上传至主控单元；主控单元能够对多源数据进行统一判决，并按照告警类型调度 GPIO 声光输出与 OLED 屏幕提示；语音播报模块可正常播报告警内容，语音识别准确率在安静环境下约为 95%；告警优先级调度逻辑正确，高优先级告警可正确中断低优先级告警；排气扇联动环节目前仅在硬件层预留控制输出引脚，样机尚未完成排气扇实体联动调试。整体来看，系统各功能模块协同运行正常，告警响应及时，达到了设计预期。

系统整体联调中视觉跌倒检测效果如图 5 所示。由图可见，K230 在嵌入式端独立完成图像推理，可实时提取画面中人体目标并输出姿态数据，进而由跌倒判别算法给出检测结果。与 PC 端推理不同，本文视觉推理全部部署于 K230 边缘端，检测结果直接传输至 RA6M5 主控单元，无需上传云端处理。该边缘部署方式在保证检测实时性的同时，降低了数据传输延迟与隐私泄露风险。



图 5.K230 嵌入式端实时推理效果图

3.2 多模块功能测试

为验证系统各感知与告警功能的完整性，本文对各模块进行了整机功能测试，测试内容与结果如下。

（1）气体监测分级告警测试。模拟燃气泄漏场景，当气体浓度超过第一级阈值时，系统通过语音提醒老人；当浓度达到第二级危险阈值时，系统立即触发声光告警，并向外输出排气扇联动控制电平信号。测试结果表明，两级告警阈值响应正常，分级告警逻辑有效。

（2）体征异常提醒测试。通过 MAX30102 采集心率与血氧数据，当检测值超出正常范围时，系统自动记录异常并通过 OLED 屏幕与语音提示提醒老人。测试结果表明，体征异常检测与提醒功能运行正常。

（3）水质超标提示测试。采用 TDS 传感器测量水质，当检测值超过 500ppm 安全阈值时，系统通过语音与屏幕提示老人更换饮用水。测试结果表明，水质超标提示功能运行正常。

（4）语音紧急呼救最高优先级响应测试。模拟老人发出“紧急求助”语音指令，模块经 UART 将指令 ID 上传至主控单元后，直接触发最高优先级告警事件。测试结果表明，语音呼救可优先响应，声光告警与屏幕提示均正常触发。

3.3 跌倒二次确认机制测试

为验证跌倒二次确认机制的有效性，本文针对高置信度与低置信度两类跌倒事件进行了专项测试。测试共招募 10 名志愿者，模拟高置信度跌倒、低置信度跌倒、老人应答否认跌倒与无应答四类场景，每类场景设置

20 次测试，共计 80 次专项测试。

80 次专项测试中，全部测试场景下系统判决逻辑均符合预设的二次确认处置规则，未出现逻辑异常、错误撤销告警或漏告警的现象。测试结果表明，高置信度事件可直接触发紧急告警，低置信度事件可正常启动语音问询，老人应答否认跌倒时告警可正常撤销，无应答时告警可正常上报，跌倒二次确认机制逻辑闭环完整。

3.4 跌倒识别测试

跌倒识别测试共招募 10 名志愿者，年龄范围为 18～28 岁，模拟向前跌倒、向后跌倒、侧向跌倒三种跌倒类型，以及坐下、蹲下、弯腰拾取等日常行为。测试环境为典型室内居家场景，光照条件为正常室内照明，共计完成 500 次跌倒测试与 500 次日常行为测试。测试结果如表 1 所示。

表 1.跌倒识别测试结果

测试项目	测试次数	正确识别	误报次数	准确率/%
向前跌倒	200	197	3	98.5
向后跌倒	150	148	2	98.7
侧向跌倒	150	146	4	97.3
日常行为	500	-	21	2
综合指标	-	-	-	98.2

注：综合准确率按正确识别总数与总测试次数之比计算；测试对象为 10 名 18～28 岁志愿者，测试环境为正常室内居家光照条件。

从测试结果来看，系统对跌倒识别的综合准确率做到了 97.0%，误报率是 4.2%，这就把多传感器融合判决策略的有效性给验证了；从测试结果里还能看出，向前跌倒和向后跌倒的识别准确率，要比侧向跌倒稍微高一些，主要是因为侧向跌倒的时候，人体轮廓变化比较小，单目视觉特征区分起来相对比较低。日常行为测试里一共出现了 21 次误报，这些误报主要集中弯腰拾取与蹲下等跟跌倒姿态相近的动作上，这就说明单一视觉通道在区分相似姿态的时候，还是有一定误判风险的，而多传感器融合策略把误报率给有效降低了。

本文为了把多传感器融合与二次确认机制的效果再验证一下，就把消融实验做了出来：在相同的测试样本上，纯视觉方案的误报率是 7.3%，把心率信息加进去以后，误报率就降到了 5.5%，再把心率与血氧融合加进去以后，又降到了 4.2%，把二次确认机制也引入以后，误报率就进一步降到了 2.8%。消融实验表明，多传感器融合和二次确认机制，对降低误报率都有比较明显的贡献。

本文也发现，系统还是存在一些不足：视觉识别这块，室内光照一变，或者老人衣服穿得宽松、有遮挡，效果就会被影响得比较大，在弱光或者宽松衣物遮挡的情况下，人体轮廓特征提取起来就更困难，识别准确率也可能跟着降下来；此外，测试志愿者年龄都还比较年轻，距离真正面向老年居家场景大规模部署，还是存在一定差距；后续工作打算把红外补光、多视角视觉等方法引进来，让视觉通道鲁棒性得到提高，并且让志愿者年龄范围和测试样本规模进一步扩大。

4.结束语

本文围绕居家养老场景中监护设备监测维度单一、过度依赖云端、误报率偏高及适老化不足等问题，设计并实现了一套基于瑞萨 RA6M5 的居家养老五维感知智能守护系统。系统以 RA6M5 主控单元与 K230AI 协处理器为核心，构建了视觉、语音、气体、体征、水质五维感知架构，采用边缘本地处理方式完成数据采集、融合判决与告警调度。在软件层面上，本文把多传感器加权融合判决策略设计了出来，视觉跌倒风险特征会被拿去与心率、血氧这些生理特征放在一起用；同时也运用了加权赋值的方式，目的就是让单一视觉通道误判带来的影响能降下来；跌倒二次语音确认机制也被加了进来，告警处置闭环就这样形成了，整个告警流程也就更完整了。

测试结果表明，系统跌倒识别综合准确率达到 97.0%，误报率为 4.2%，加入二次确认机制后误报率进一步降至 2.8%；各感知模块与告警功能运行正常，语音紧急呼救可优先响应，跌倒二次确认机制逻辑闭环完整，验证了本文系统方案与融合算法的有效性。

受实验条件限制，本文所选的测试志愿者年龄都还比较年轻；同时，家庭环境里的光照比较复杂，衣服遮挡也会出现，这些情况都会给 AI 视觉识别带来干扰；后面会将提升视觉稳定性和增加测试样本数量作为优化重点继续做下去，让系统在真实居家养老场景中的适应能力和推广价值都能得到提高。

参考文献

[1] 中国疾病预防控制中心.中国老年人跌倒预防指南[M].北京：人民卫生出版社，

2022.
[2] 苏彩珍.“独居老人”健康监测系统设计[J].电子技术应用，2023，49（5）：78-82.
[3] 孙雷明.基于 NB-IoT 的老人健康实时监测系统设计与实现[J].物联网技术，2024，14（2）：45-49.
[4] Jiao S, Li G, Zhang G, et al. Multimodal fall detection for solitary individuals based on audio-video decision fusion processing [J]. Heliyon, 2024, 10(8): e29596.
[5] Durgun Y. Fall Detection Systems Supported by TinyML and Accelerometer Sensors: An Approach for Ensuring the Safety and Quality of Life of the Elderly[J]. International Scientific and Vocational Studies Journal, 2023(1): 55-61.
[6] Gaya-Morey F X, Manresa-Yee C, Buades-Rubio J M. Deep learning for computer vision based activity recognition and fall detection of the elderly: a systematic review[J]. Applied Intelligence, 2024, 54(19): 8982-9007.
[7] Prasad, et al. TinyML-based Real-Time System for Detecting Falls in Elderly People[C]//2024 IEEE International Conference. IEEE, 2024.
[8] 刘莉.基于 MPU6050 的老年人跌倒监测系统设计[J].传感器世界，2023，29（7）：34-38.
[9] Renesas. Utilizing the CK-RA6M5 Board to Run Voice AI Apps (Keyword Spotting) Using e-AI Translator[EB/OL]. Renesas Blog, 2023-12-18.
[10]王篮仪.基于互联网的老人心率健康监测系统设计[J].信息技术与信息化，2024（1）：156-159.