

doi: 10. 3969 / j. issn. 1674 - 1242. 2025. 03. 001

基于云监控平台实现老年群体身体状态的实时监测

潘晓东¹, 罗斐斐², 郭胜才³

(1. 中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院医学工程科, 浙江杭州 310013;

2. 中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院信息科, 浙江杭州 310013;

3. 中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院药剂科, 浙江杭州 310013)

【摘要】目的 对老年群体身体状态的突然改变(如从正常状态到跌倒状态)进行告警,使监护人可在第一时间进行干预。**方法** 系统采用由 MPU6050 三轴加速度传感器和数字运动处理器(Digital Motion Processor, DMP)组成的身体状态感知单元采集人体 X、Y、Z 三轴加速度并计算合加速度。数据通过集成电路总线(Inter-Integrated Circuit, I²C)传输至 nRF51822 主控芯片,并经蓝牙 4.0 协议发送至数据处理模块。数据处理模块利用 GSM/4G 无线通信将数据上传至云监控平台,云监控平台基于阈值法监测算法进行数据分析与异常判定,并推送告警至监护人移动终端。**结果** 在监测对象(老年人)发生跌倒等异常事件时,系统能实时触发告警,并推送监测对象的位置信息,实现高效干预。**结论** 该系统形成了“传感监测—蓝牙传输—平台分析—智能告警”的闭环监护流程,具有实时性强、误报率低、部署灵活等优势,有助于提升老年人身体状态突然改变后的响应效率和救治成功率。

【关键词】 移动通信技术; 老年群体; 跌倒; 实时监测**【中图分类号】** R581.3**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242(2025)03-0273-07

Development of Real-Time Monitoring System for Physical Status of the Elderly Based on Cloud Monitoring

PAN Xiaodong¹, LUO Feifei², GUO Shengcai³

(1. Department of Medical Engineering, 903rd Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Hangzhou, Zhejiang 310013, China;

2. Department of Information, 903rd Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Hangzhou, Zhejiang 310013, China;

3. Department of Pharmacy, 903rd Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Hangzhou, Zhejiang 310013, China)

【Abstract】Objective To monitor sudden changes in the physical status (normal to fall) of the elderly in real time and provide intelligent alerts, enabling guardians to intervene promptly. **Methods** The system employs an MPU6050 three-axis accelerometer and a digital motion processor (DMP) to form the body state sensing unit, which captures the acceleration along the X, Y, and Z axes and calculates the resultant vector. Data are transmitted via the inter-integrated circuit (I²C) bus to an nRF51822 microcontroller and then sent to the data processing module using Bluetooth

收稿日期: 2025-04-01。

作者简介: 潘晓东(1978—), 男, 浙江杭州人, 本科生, 高级工程师, 研究方向为医疗设备与智能化。邮箱: 35920117@qq.com。

4.0. The module uploads the data to a cloud monitoring platform via GSM/4G wireless communication. The platform uses a threshold-based detection algorithm to analyze the data and sends alerts to the guardian's mobile terminal when anomalies are detected. **Results** When a fall or other abnormal event occurs, the system immediately triggers an alert and sends the location of the monitored individual, allowing timely intervention. **Conclusion** The system establishes a “sensor detection–Bluetooth transmission–cloud analysis–intelligent alert” closed-loop monitoring process, offering strong real-time performance, low false alarm rates, and flexible deployment. It effectively improves the response speed and treatment success rate for the elderly sudden change in the physical status.

【Key words】Mobile Communication System; The Elderly; Fall Down; Real-Time Monitor

0 引言

第七次全国人口普查数据显示,我国 60 岁及以上老年人口已达 2.64 亿,占总人口的 18.70%^[1]。随着人口老龄化进程的加快,老年人的健康管理问题日益严峻。研究表明,跌倒已成为我国 65 岁及以上老年人因伤致死的首要原因^[2],不仅对老年人的生命安全构成威胁,也给家庭与社会带来了巨大负担。对老年群体的身体状态进行实时监测,特别是对跌倒等突发事件进行即时识别与预警,成为智慧医疗与居家健康看护领域的重要研究方向。建立高效、可靠、低成本的跌倒监测系统,对提升老年人生活质量与医疗干预效率具有重要意义。

1 技术现状

近年来,国内外在跌倒监测系统领域取得了显著进展,主要研究内容包括基于视频图像、地面压力传感系统、可穿戴设备等的多种跌倒监测方法。其中,基于视频图像的跌倒监测方法^[3-4]借助高速摄像头与图像识别算法,监测精度较高,但存在明显的隐私泄露问题,且受限于部署环境;地面压力传感系统虽然灵敏度高,但大多为固定式布设,难以随身携带,适用范围有限。

相比之下,可穿戴跌倒监测系统因其体积小、成本低、便携性强等优势,近年来得到了广泛关注。当前的主流方法可分为两类^[5]。①基于机器学习(Machine Learning, ML)与基于深度学习(Deep Learning, DL)算法的监测方法。该类方法具有较高的识别准确率,但依赖大量训练数据,算法复杂,运行能耗高,难以部署于资源受限的低功耗设备。②基于阈值法的监测方法。该类方法通过设定加速

度等关键指标的阈值判定跌倒,其结构简单、响应迅速、计算资源消耗小,更适用于低功耗穿戴设备。但该类方法面临阈值设定缺乏统一标准、误报率与漏报率控制不平衡等挑战。

鉴于上述问题,本研究设计并实现了一种基于 MPU6050 三轴加速度传感器、nRF51822 主控芯片及云监控平台的可穿戴老年人跌倒监测系统。该系统以简化阈值算法为核心,通过多阶段加速度特征分析有效提升监测准确率;同时,优化数据采集与通信策略,实现低功耗运行;在结构设计方面,构建“感知单元—数据模块—云平台—终端预警”闭环,系统响应时间控制在 1s 以内,具备实时性强、实用性高、误报率低等优势,突破了现有可穿戴系统在算法部署与工程化落地方面的技术瓶颈。

2 系统设计

2.1 身体状态感知单元

2.1.1 跌倒监测算法

人体活动可分为日常生活行为(Activities of Daily Living, ADL)与跌倒行为两大类^[6]。本研究以人体腰部(重心附近)为原点建立三维坐标系,如图 1 所示,将人体运动过程中的姿态变化转换为 X、Y、Z 三轴上的加速度变化。通过分析人体 X、Y、Z 三轴合加速度判断身体状态。站立或步行时,人体主要受重力加速度的影响,合加速度在 1g 附近波动。然而,当跌倒发生时,三个轴的加速度均会发生较大变化,导致合加速度显著提高^[7]。跌倒时三个轴的加速度变化如图 2 所示。

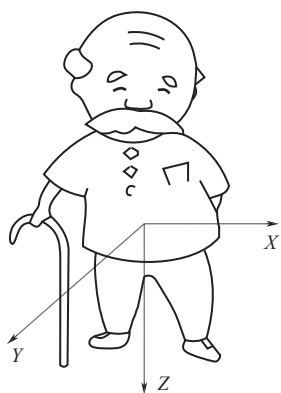


图1 人体三维坐标系
Fig.1 3D human body coordinate system

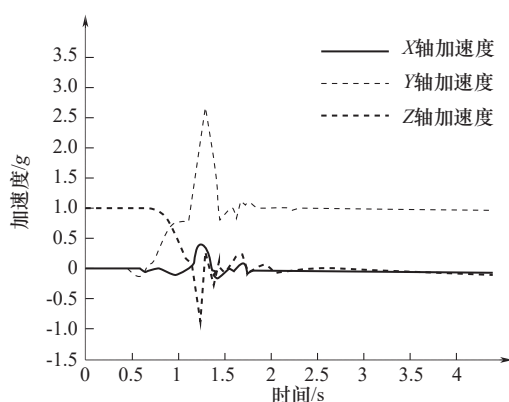


图2 跌倒时三个轴的加速度变化
Fig.2 Three-axis acceleration changes during falls

跌倒过程中合加速度的变化如下。①失重阶段：合加速度从 1g 迅速下降至约 0g，触发失重中断。②撞击阶段：人体重心下移，失去平衡。在 0.5s 内，合加速度迅速上升至约 4.3g（远超设定的 2g 阈值），触发撞击中断。③静止阶段：跌倒后，合加速度逐渐恢复至 1g 左右，并持续 2s 以上，触发静止中断。

为了提高跌倒监测的准确性并减少误判，本研究基于多次实验数据分析，为不同阶段设定时间窗，如表 1 所示。

表 1 各跌倒阶段关键参数与时间窗变化
Tab.1 Key parameters and time windows of fall stages

跌倒阶段	物理现象	合加速度变化	时间窗
失重阶段	身体突然下坠	1g → 0g	—
撞击阶段	碰撞地面	0g → 4.3g	≤ 0.5s
静止阶段	停止运动	4.3g → 1g	≥ 2s

为验证本系统跌倒监测算法的性能，本研究在实验室环境下模拟老年人日常生活行为与跌倒行为，采集 200 组行为样本数据（包括 150 组日常生活行为、50 组真实跌倒行为模拟数据）。通过设定的合加速度阈值与多阶段判断机制对样本进行识别，记录系统输出结果并统计如下性能指标：监测准确率 (Accuracy) = $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$ ；灵敏度 (Sensitivity) = $TP / (TP + FN)$ ；特异性 (Specificity) = $TN / (TN + FP)$ ；误报率 (False Positive Rate) = $FP / (FP + TN)$ ；漏报率 (False Negative Rate) = $FN / (TP + FN)$ 。其中，TP 表示跌倒监测为阳性且实际为跌倒；TN 表示跌倒监测为阴性且实际为非跌倒；FP 表示误报，即日常生活行为被误判为跌倒行为；FN 为漏报，即跌倒行为未被监测出。统计结果表明：本系统在设定阈值为 2g、时间窗设置为 0.5s 撞击 + 2s 静止的条件下，监测准确率为 94.5%，灵敏度为 92.0%，特异性为 96.0%，误报率为 4.0%，漏报率为 8.0%。该结果表明，本系统在兼顾实时性与算法简化的前提下仍具备较高的识别能力，能够有效满足老年人的跌倒识别需求。

2.1.2 MPU6050 传感器

MPU6050 传感器是一款集成三轴角速度传感器与三轴加速度传感器的高精度运动处理单元 (Motion Processing Unit, MPU)。该传感器内置数字运动处理器 (Digital Motion Processor, DMP)，可对数据进行滤波与融合处理，并通过集成电路总线 (Inter-Integrated Circuit, I²C) 接口将数据传输至主控芯片^[8]。

MPU6050 传感器主要初始化步骤如下。① I²C 接口初始化：设定串行数据线 (Serial Data Line, SDA) 和串行时钟线 (Serial Clock Line, SCL) 的通用型输入输出 (General Purpose Input/Output, GPIO) 端口。② 寄存器设置与复位：唤醒传感器进入工作状态，设定采样率、滤波带宽以及角速度与加速度传感器满量程范围。③ 信号处理：关闭先进先出 (First Input First Output, FIFO)，设定时钟源与电源配置。

2.1.3 SoC 主控芯片

nRF51822 是一款集成 32 位 ARM Cortex-M0 内

核的蓝牙低功耗（Bluetooth Low Energy, BLE）芯片^[9]。其内含 256kB Flash 与 16kB RAM，并支持定时器（Timer）、GPIO 等多种外设。本研究利用 I²C 读取 MPU6050 传感器数据，并通过 BLE4.0 协议发送至数据处理模块。

考虑到无线数据传输的功耗与实时性，本研究优化了合加速度数据的发送策略：①发送频率需满足跌倒事件的实时监测需求；②避免数据冗余，防止传输通道阻塞。优化后不同运动状态下的数据采样率与传输参数设计如表 2 所示。

表 2 不同运动状态下的数据采样率与传输参数设计
Tab.2 Sampling and transmission parameters design for different motion states

运动状态	数据采样率	传输间隔	传输模式
正常步行	50Hz	500ms	低功耗模式
失重 / 撞击	100Hz	50ms	高速传输模式
静止	10Hz	1s	低功耗模式

2.2 数据处理模块

2.2.1 模块功能概述

数据处理模块作为状态感知单元与云监控平台之间核心数据传输的桥梁，主要实现以下功能^[10]。

①蓝牙数据接收：从主控芯片（nRF51822）接收实时加速度数据。②数据暂存：在信号不佳的情况下临时存储监测数据，防止数据丢失。③无线数据传输：利用移动通信网络将数据上传至云监控平台。④异常反馈：接收云监控平台发出的告警，并向用户提供语音提示。

2.2.2 硬件设计

数据处理模块采用高弹性橡胶外壳，能够稳固封装感知单元，并具有耐磨、防水、轻量化等特点，以确保监测对象（老年人）在日常活动中无额外负担。模块内部集成情况如下。①蓝牙通信单元（BLE 4.0）：用于接收状态感知单元的加速度数据。②存储单元（Flash）：用于临时存储数据，在断网的情况下保证数据的完整性。③无线通信单元（GSM/4G）：负责向云监控平台传输数据。④告警反馈单元：蜂鸣器 / 语音播报（当跌倒事件确认后，向监测对象发出提示）、LED 指示灯（用于设

备状态指示）。⑤电源管理单元（3.7V 锂电池）：为整个数据处理模块提供稳定的电力支持，并内置电量监测、电流保护与低功耗控制电路。数据处理模块各硬件单元的组成及功能如表 3 所示。

表 3 数据处理模块各硬件单元的组成及功能
Tab.3 Components and functions of each hardware unit of the data processing module

硬件单元	组件	主要功能
蓝牙通信单元	nRF51822	接收状态感知单元数据
存储单元	SPI Flash	在断网的情况下暂时存储数据
无线通信单元	SIM800L（GSM/4G）	远程数据上传
告警反馈单元	蜂鸣器 / LED 指示灯	提示跌倒告警
电源管理单元	3.7V 锂电池	供电与低功耗管理

2.2.3 软件流程

数据处理模块的软件流程包括以下 4 个核心步骤。①蓝牙数据接收：通过 BLE 4.0 协议，与 MPU6050 传感器的主控芯片（nRF51822）建立稳定的连接，解析 X、Y、Z 三轴加速度数据，计算合加速度。②数据存储与预处理：当设备网络信号弱或断网时，自动启用 Flash 存储数据，避免数据丢失；预处理异常数据，剔除干扰信号（如佩戴者剧烈晃动导致的误判）。③无线数据传输：设备正常联网后，将存储的数据批量上传至云监控平台，采用消息队列遥测传输数据（Message Queuing Telemetry Transport, MQTT）协议进行数据传输，确保低延迟与高可靠性。④误报过滤与数据可靠性提升：首先，系统通过滑动窗口算法分析三轴加速度波形，提取幅度、持续时间及变化趋势，初步剔除快速坐下、剧烈扭转等非跌倒行为；其次，结合“状态链”识别逻辑，系统仅在监测到“失重—撞击—静止”三阶段完整序列（如加速度骤降至 $\approx 0g$ ，0.5s 内骤升至 $>2g$ ，静止维持 $\geq 2s$ ）时才判定为真实跌倒。若异常变化持续时间不足 0.2s，或者未形成有效静止状态，则视为干扰信号并过滤。⑤告警反馈机制：当云端确认发生跌倒事件后，数据处理模块接收来自云监控平台的反馈指令，触发蜂鸣器提示且 LED 指示灯闪烁，同时向用户播放语音消息，如“监测到跌倒，请等待救援”。

2.2.4 低功耗优化

为了提升设备的续航能力, 数据处理模块采用了动态功耗管理策略。①正常状态(无跌倒事件): 低功耗模式, 蓝牙数据采样率降低, GSM 发送频率调整为 10s/次。②跌倒监测与事件发生: 进入高性能模式, 提高传输速率, 并优先保证所上传数据的完整性。不同工作模式下数据处理模块的功耗配置如表 4 所示。

表 4 不同工作模式下数据处理模块的功耗配置

Tab.4 Power consumption configuration under different working modes

工作模式	主要任务	蓝牙数据采样率 / Hz	无线通信频率	功耗 / mA
正常状态	步行监测	50	10s/次	5 ~ 10
跌倒监测	事件识别	100	1s/次	20 ~ 30
断网存储	断网缓存数据	50	暂存 Flash	5
告警反馈	语音提示与反馈	—	—	15

2.3 云监控平台设计

2.3.1 平台功能概述

云监控平台是整个系统的数据处理与决策中心, 负责接收、存储、分析来自数据处理模块的监测数据, 并对异常事件(如跌倒)实时告警。其主要功能包括以下几项。①数据接收: 通过 MQTT 协议接收来自数据处理模块的加速度数据。②数据存储: 利用云数据库(MySQL / MongoDB 数据库)对历史数据进行管理。③状态分析: 基于设

定的阈值与机器学习算法判定老年人的身体状态。

④告警推送: 当监测到异常情况时, 向监护人的移动终端发送告警信息。⑤用户管理: 存储监测对象的基本信息, 确保设备与用户的唯一绑定。⑥数据安全: 采用加密算法保障数据传输的安全性, 防止数据泄露。云监控平台的整体架构如图 3 所示。

2.3.2 数据处理流程

云监控平台的数据处理流程包括数据采集、数据预处理、数据存储、跌倒监测和告警推送等核心步骤, 如表 5 所示。

表 5 云监控平台的数据处理流程

Tab.5 Data processing steps of the cloud monitoring platform

处理步骤	主要任务	处理方法	目标
数据采集	传感数据接收	MQTT / HTTPS	确保数据稳定传输
数据预处理	滤波降噪	滑动窗口 / Z-score	提高数据质量
数据存储	短期与长期存储	Redis / MongoDB	高效管理数据
跌倒监测	异常判定	阈值法 + 机器学习	降低误报率
告警推送	通知监护人	App / 短信	实时干预

2.3.3 平台系统架构

云监控平台采用分层架构设计, 主要包括数据接入层、数据处理层、应用层、用户交互层, 具体如下。①数据接入层: 负责接收来自数据处理模块的数据流, 采用 MQTT / HTTP 应用程序编程接口(Application Programming Interface, API)进

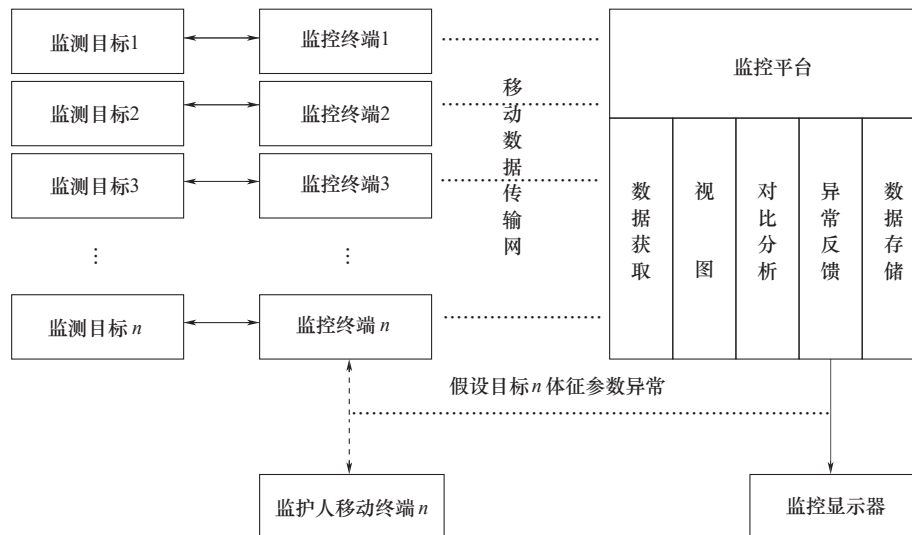


图 3 云监控平台的整体架构

Fig.3 Overall architecture of cloud monitoring platform

行通信, 保证低延迟和高可靠性, 具备断线重连机制, 确保数据传输不中断。②数据处理层: 包含数据清洗、存储、分析三大模块, 采用分布式数据库 (Redis+MongoDB) 提高系统的扩展性, 通过流式计算框架 (如 Apache Flink) 实现实时跌倒监测。③应用层: 负责跌倒事件分析、历史数据可视化, 提供 REST API 接口供移动终端和监护人访问。④用户交互层: 包含 Web 端和移动端, 用于告警信息推送与数据查询, 具备数据加密和认证机制, 保障用户隐私安全。

为评估系统的实时响应能力与网络恢复性能, 本文对关键处理步骤进行耗时测试与估算。跌倒事件从传感器触发到监护人终端收到告警信息的全流程平均响应时延为 0.8 ~ 1.2s, 其中传感器数据采集与本地判断约为 0.3s, 无线传输与云平台处理约为 0.5s, 告警信息推送至终端平均延迟约为 0.2s。此外, 在模拟移动通信断网场景下, 系统可实现 10s 内自动重连并补传缓存数据, 保障数据的完整性与监测连续性。上述结果表明本系统具备较强的实时处理能力与抗网络波动能力, 可以满足老年人跌倒监测低延迟、高稳定性的关键要求。

2.3.4 数据安全与隐私保护

为了确保监测数据的安全性, 云监控平台采取多层次的安全策略, 主要包括以下几项^[11]。①数据加密: 传输过程中采用 AES-256+TLS 1.2 加密, 防止中间人攻击; 存储数据时对用户隐私信息 (如姓名、手机号) 进行脱敏处理。②身份认证: 采用 OAuth 2.0+JWT 进行用户身份认证, 防止未授权访问, 每个设备与用户账号唯一绑定, 避免数据泄露。③异常监测: 采用 AI 异常监测算法, 识别可疑登录行为 (如 IP 变更), 发现异常后, 立即向管理员发送安全告警。

2.4 监护人移动终端

监护人移动终端是云监控平台与用户的交互界面, 主要用于接收告警信息、提供实时位置、查询历史监测数据, 并支持远程干预。其核心功能包括以下几项。①告警信息接收: 当系统监测到异常情况 (如跌倒) 时, 移动终端通过 App 推送、短信、

语音通话等方式向监护人发送告警信息。②实时位置查询: 提供跌倒发生的 GPS 位置, 便于监护人快速响应。③历史监测数据回溯: 支持查询监测对象的跌倒记录、运动轨迹、身体状态趋势等信息。④远程干预: 支持紧急呼叫, 一键拨打急救电话, 自动通知监护人, 确保救援资源分配效率。⑤个性化设置: 支持自定义告警方式 (如静音、震动、紧急响铃), 设定多级监护人, 确保信息传达无遗漏。

移动终端软件采用前端 + 云端 API + 通信协议架构, 保证实时性、稳定性和高可用性。软件架构的主要组成如下。①前端应用 (App、小程序、Web 端); ②云端 API; ③实时通信。为提升监护人端的实际可用性与友好性, 对系统移动终端的交互界面进行了适老化设计。例如, 采用高对比度配色与大字号文字; 功能入口布局简洁直观, “告警信息” “实时定位” “紧急通话” 三大核心功能设置为主屏幕一键直达, 缩短用户操作路径; 告警信息通过多通道推送 (App 弹窗、语音播报、短信联动), 保障信息传达的可靠性; 紧急联系按钮支持 “一键拨号” 与 “自动群呼”, 确保在紧急情况下能快速联系到第一监护人或备选联系人。本系统还支持多终端共享, 家庭成员可分级接收监测数据与预警信息, 实现监护责任的协同分担。后续将结合用户使用反馈进一步优化交互逻辑, 增强语音提示功能, 提升整体人机交互体验。

3 结束语

本研究所使用的跌倒与非跌倒数据均来自实验室仿真测试, 由研究人员模拟老年人日常生活行为与跌倒行为, 对研究人员不同身体状态转换瞬间产生的加速度变化进行分析。这是因为突然被绊倒时、跌倒前、跌倒瞬间、着地瞬间人体的合加速度均会发生较大变化。在实时监测合加速度的过程中, 一旦云监控平台发现数值超过设定的阈值, 系统就会触发告警, 告警信息先传输至数据传输模块, 再发送到云监控平台, 最后发送至监护人终端, 提醒其干预。本系统的使用将有助于实现对监控对象身体状态的监测, 特别是跌倒后的及时关注, 使其在第一时间获得医疗服务。

尽管本系统在跌倒监测准确性、响应及时性与

工程实用性等方面表现良好,但在实际应用中仍存在一定的局限性。①设备整体续航时间受限于电池容量与功耗策略。②系统高度依赖无线通信网络,若处于弱信号覆盖区,数据传输的实时性可能受到影响。③设备当前佩戴位置主要为腰部,部分老年人可能存在穿戴依从性不佳或使用具有不适感,影响监测效果。

后续研究将围绕以下几个方向进行优化。①探索基于边缘计算的本地预处理机制,进一步减少云监控平台负载与数据传输压力。②引入多模态传感器(如心率传感器、姿态传感器、地磁传感器)以丰富识别维度,提升系统的鲁棒性。③优化设备结构与材料选择,提高佩戴的舒适性与适老性。④扩展至更多应用场景,如独居老人、养老机构、户外监护等,提升系统的推广应用价值。

参考文献

- [1] 李波. 留守老年人的经济保障水平及其对家人关爱程度的影响——以广西桂北为例[D]. 桂林: 广西师范大学, 2019.
LI Bo. The economic security level of left-behind elderly and its impact on the degree of the family caring--taking the North of the Guangxi Zhuang Autonomous Region as an example[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2019.
- [2] 刘凯, 陈英, 高照, 等. 足底感知训练对有跌倒史老年人平衡能力和跌倒风险的影响研究[J]. **中国全科医学**, 2020, 23(12): 1504-1508.
LIU Kai, CHEN Ying, GAO Zhao, *et al.* Impact of plantar perception training on the balance ability and the risk of falls in the elderly with a history of falls[J]. **Chinese General Practice**, 2020, 23(12): 1504-1508.
- [3] 李文阳, 马行, 穆春阳. 基于 Kinect V2 的跌倒行为检测与分析[J]. **现代电子技术**, 2019, 42(6): 150-153.
LI Wenyang, MA Xing, MU Chunyang. Detection and analysis on fall behavior based on Kinect V2[J]. **Modern Electronics Technique**, 2019, 42(6): 150-153.
- [4] FAN K, WANG P, ZHUANG S. Human fall detection using slow feature analysis[J]. **Multimedia Tools and Applications**, 2019, 78(7): 9101-9128.
- [5] 刘石雨, 王多璠. 一种实时多传感器跌倒检测系统[J]. **软件导刊**, 2021, 20(2): 165-168.
LIU Shiyu, WANG Duo Jin. A real-time fall detection system based on multi-sensors[J]. **Software Guide**, 2021, 20(2): 165-168.
- [6] 向琦, 陈旭, 王春城, 等. 基于移动终端的智能看护系统设计[J]. **计算机测量与控制**, 2019, 27(5): 251-254.
XIANG Qi, CHEN Xu, WANG Chuncheng, *et al.* Design of intelligent care system based on mobile terminal[J]. **Computer Measurement & Control**, 2019, 27(5): 251-254.
- [7] 李京慧, 迟宗涛, 李钟晓. 基于阈值分析法的人体跌倒检测系统[J]. **传感器与微系统**, 2019, 38(8): 80-82, 86.
LI Jinghui, CHI Zongtao, LI Zhongxiao. Human fall detection system based on threshold analysis method[J]. **Transducer and Microsystem Technologies**, 2019, 38(8): 80-82, 86.
- [8] 王仁军. 基于 UWB 定位的无人机集群系统研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2019.
WANG Renjun. Unmanned aerial vehicle cluster system based on UWB positioning[D]. Hangzhou: Hangzhou University of Electronic Science and Technology, 2019.
- [9] 王超, 姚瑞玲. nRF51822 与传感器融合的定位算法[J]. **计算机工程与设计**, 2018, 39(7): 1946-1953.
WANG Chao, YAO Ruiling. nRF51822 and sensor fusion localization algorithm[J]. **Computer Engineering and Design**, 2018, 39(7): 1946-1953.
- [10] 武杰, 任怡洁, 刘乐, 等. 基于数值仿真的医学影像技术实验教学探索[J]. **生物医学工程学进展**, 2022, 43(1): 60-62.
WU Jie, REN Yijie, LIU Le, *et al.* Exploration of experimental teaching of medical imaging technology based on numerical simulation[J]. **Progress in Biomedical Engineering**, 2022, 43(1): 60-62.
- [11] 李晓燕, 李丕丁. 基于 IPMI 的血浆机远程监控和维护方法研究[J]. **生物医学工程学进展**, 2015, 36(1): 45-48.
LI Xiaoyan, LI Piding. Research on remote monitoring and maintenance of medical equipment based on IPMI[J]. **Progress in Biomedical Engineering**, 2015, 36(1): 45-48.