

# 基于 AI 与多模态融合的老年人跌倒监测预警系统设计

晏明波, 张鹏, 龙燕聪, 刘杨, 何意如

湖南应用技术学院, 湖南 常德 415100

DOI:10.61369/RSTD.2026010009

**摘 要 :** 随着人口老龄化加速, 居家空巢老人跌倒风险凸显, 传统跌倒监测系统存在被动监测、数据融合不足、隐私与可信性缺失等痛点。本文设计并实现了一种基于 AI+ 的居家老人跌倒监测预警系统, 构建“数据采集-分析检测-服务支撑”全流程防护体系。系统采用五层架构, 核心模块以多模态分析与异常检测为核心——搭配视频处理、预警服务等模块, 先通过视频技术适配本地及网络视频流完成数据预处理, 再依托多模态模型深度解析视频内容, 大幅提升跌倒、晕倒等异常的识别精度; 同时借助实时通信技术推送预警, 并以加密存储保障数据安全。该系统可为居家养老安全提供高效技术支撑, 适用于智慧园区、居家防护等场景。

**关 键 词 :** 居家养老; 跌倒监测; AI 多模态融合; 实时预警

## Design of an Elderly Fall Monitoring and Warning System Based on AI and Multi-modal Fusion

Yan Mingbo, Zhang Peng, Long Yancong, Liu Yang, He Yiru

Hunan Applied Technology University, Changde, Hunan 415100

**Abstract :** With the acceleration of population ageing, the risk of falls among elderly people living alone at home has become increasingly prominent. Traditional fall monitoring systems have limitations such as passive monitoring, insufficient data integration, and lack of privacy and trustworthiness. This paper designs and implements an AI-based fall monitoring and early warning system for elderly people at home, constructing a full-process protection system of 'data collection - analysis and detection - service support'. The system adopts a five-layer architecture, with the core module focusing on multimodal analysis and anomaly detection, complemented by video processing, early warning services, and other modules. It first uses video technology to adapt to local and network video streams for data preprocessing, then relies on multimodal models to deeply analyse video content, significantly improving the accuracy of detecting abnormalities such as falls and fainting. At the same time, it leverages real-time communication technology to push warnings and ensures data security through encrypted storage. This system can provide efficient technical support for home-based elderly care safety and is suitable for scenarios such as smart communities and home protection.

**Keywords :** home-based elderly care; fall monitoring; AI multimodal integration; real-time early warning

## 引言

随着我国人口老龄化进程加速, 空巢老人群体持续扩大, 居家养老凭借贴合传统习惯、成本较低等优势, 成为主流养老模式。但居家环境缺乏专业照护人员实时干预, 老年人因生理机能衰退、平衡能力下降, 叠加居家地面湿滑、障碍物等环境因素, 跌倒安全事故频发, 严重威胁生命健康。据世界卫生组织统计, 全球65岁以上老年人年跌倒率高达30%, 《中国老年人跌倒预防指南(2022版)》明确, 其中20%会导致骨折、颅脑损伤等严重伤害, 跌倒已成为老年人意外伤害致死的首要原因<sup>[1]</sup>。传统居家跌倒监测系统存在显著短板, 难以满足安全防护需求: 一是监测模式被动, 多依赖 ADXL345 倾角传感器、三轴加速度传感器或 FPGA 视频监控等单一设备<sup>[2-5]</sup>, 仅能在跌倒后实现视频回溯或报警, 缺乏风险前置预判能力<sup>[2-5]</sup>; 二是数据处理碎片化, 未有效融合视频、生理信号等多模态数据<sup>[6-7]</sup>, 导致检测误检率高、响应滞后; 三是数据存储安全可信性不足, 集中式架构易引发隐私泄露、数据篡改问题。AI 多模态融合

基金项目: 2025 年度湖南省大学生创新训练计划 (S202513809032); 湖南应用技术学院教学改革创新项目 (HYSX202502)。

第一作者: 晏明波 (2005-), 男, 本科, 研究方向: 智能技术;

第一作者: 张鹏 (2004-), 男, 本科, 研究方向: 物联网技术。

技术为破解上述难题提供了关键路径，其可整合异构数据优势，深度挖掘多源信息关联价值<sup>[6,8]</sup>。借助 Sentence-BERT 模型的语义理解能力<sup>[9]</sup>、Qwen2.5-VL 模型的图像解析与语义生成功能<sup>[10]</sup>，能精准提取老年人姿态、动作等关键信息，结合 WebSocket 实时推送技术<sup>[11]</sup>，实现异常事件快速响应。本文设计基于 AI 的居家老人跌倒监测与预警系统，突破传统系统局限，构建“风险预判-实时监测-快速预警”全流程防护体系，为居家养老安全提供高效精准的技术支撑<sup>[10-11]</sup>。

## 一、系统分析

系统核心包含三大功能模块，构建“数据采集-分析检测-服务支撑”核心链路。多源数据采集模块通过摄像头、手环、环境传感器，同步采集体态、生理、环境数据，以低延迟传输保障数据质量；AI 多模态检测模块提取多源特征，经过多模态模型融合后精准识别跌倒等异常，按三级风险输出分析结果；服务支撑模块联动终端推送对应的预警信息，加密存储数据兼顾可用与隐私。

AI 多模态检测模块承担核心分析职责：提取视频中关节角度、身体倾斜度等视觉特征，结合生理数据的心率突变幅度、加速度峰值等指标，经多模态模型深度融合，精准识别跌倒、晕倒等异常事件，并按风险等级（一级为倾斜、二级为跌倒、三级为晕倒）分级输出结果，大幅提升检测精准度与响应效率。

## 二、系统设计

### （一）系统总框架设计

整体架构分为感知层、处理层、决策层、服务层、交互层五层，具体架构如下：

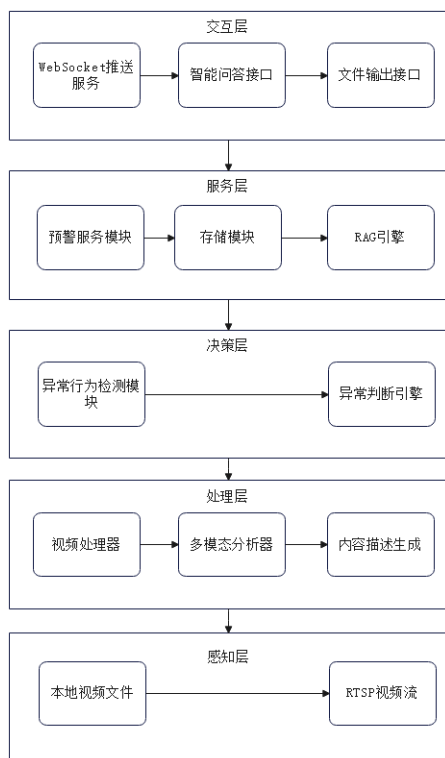


图1 系统总框架设计图

### （二）核心功能模块设计

#### 1. 视频处理模块

视频处理模块作为系统的数据输入预处理核心，视频处理模块的核心功能是将多源视频数据转化为标准化分析数据。其输入涵盖本地视频文件路径与 RTSP 视频流地址，输出为按批次缓存的标准化视频帧。该模块通过 OpenCV 完成视频解码，按固定帧率提取视频帧并写入帧缓冲区，支持批量读取以提升后续分析效率，同时对模糊、黑屏等异常帧进行过滤，保障输入至后续模块的视频数据质量，为异常检测准确性奠定基础。

#### 2. 多模态分析与异常检测模块

多模态分析与异常检测模块是系统核心分析单元，承接视频处理模块输出的批量视频帧，结合用户自定义的异常检测提示词，完成视频内容解析与异常判定。模块调用 Qwen-VL 多模态视觉模型，对批量视频帧进行语义分析，生成精准的自然语言描述文本；随后将描述文本与自定义异常提示词进行语义相似度计算，通过匹配分析完成异常行为识别，最终输出视频内容描述文本与异常检测结果（正常/异常+异常类型），提升异常检测的精准度。

#### 3. 预警服务模块

预警服务模块负责异常事件的实时响应与数据关联处理，接收决策层输出的异常判断结果后启动相应流程。若判定为异常事件，模块通过 WebSocket 协议向客户端推送预警信息，包含异常类型、发生时间、关键帧截图等核心内容，实现实时预警；同时触发异常视频片段（事件前后指定时长）与关键帧截图的保存操作，确保异常数据可追溯；若判定为正常事件，则跳过预警流程，直接触发历史记录存储操作，保障数据流转的完整性。

#### 4. 存储模块

存储模块承担系统全量数据的分类存储与定期整理职责，按数据类型实现差异化存储：正常视频的内容描述文本写入 video\_histroy\_info.txt，异常视频片段与截图存储至 video\_warning 目录，系统运行日志输出至 code.log，确保数据分类清晰、可快速检索。此外，模块定期对历史存储数据进行内容总结，按时间维度（小时/天）统计场景频次、异常类型分布等信息，为 RAG 系统提供标准化数据源，同时为用户后续数据复盘提供支持。

#### 5. RAG 智能问答模块

RAG 智能问答模块为系统高阶扩展功能，核心目标是支持用户通过自然语言查询历史监控数据与异常事件。模块将视频内容描述文本、预警信息、历史总结文本等数据进行向量化处理，存入向量数据库；当接收用户自然语言查询请求时，先对查询语句进行向量化转换，再通过相似度检索算法从向量数据库中提取匹

配数据，最终生成精准的自然语言回答。

### 三、系统实现

#### (一) 核心模块实现

##### 1. 视频处理模块实现

视频处理模块作为系统数据输入层，核心目标是实现多源视频的统一解析与标准化帧输出，为后续分析提供高质量数据支撑。

##### (1) 多源视频输入适配

针对本地视频文件与 RTSP 视频流两类输入源，基于 cv2.VideoCapture 封装统一视频读取接口：本地视频文件读取时，解析 --video\_source 参数传入的文件路径，通过 cv2.VideoCapture(file\_path) 加载文件，自动适配 MP4、AVI 等主流编码格式；RTSP 视频流读取时，解析 RTSP 地址并配置 cv2.CAP\_FFMPEG 后端，设置 5 秒超时参数，解决流连接稳定性问题，实现网络视频流的稳定拉取。

##### (2) 视频帧提取与缓存

按视频原始帧率（默认 30fps）循环调用 cap.read() 提取视频帧，将 BGR 格式帧转换为 RGB 格式以适配多模态模型输入要求，并统一缩放至 640 × 480 分辨率，降低后续分析计算量。基于 Python queue.Queue 实现帧缓冲区，设置缓存容量为 10 帧，采用“先入先出”策略，缓冲区满时触发批量帧输出，提升分析效率。同时添加异常帧过滤逻辑，通过计算帧亮度均值（< 20 判定为黑屏）、清晰度方差（< 100 判定为模糊），自动过滤无效帧，保障输入分析模块的帧数据有效性。

##### (3) 异常处理机制

针对视频解码失败、RTSP 流断开等异常场景，设计重试机制：连续 3 帧读取失败时重新初始化 VideoCapture 对象；RTSP 流连接超时则将异常信息记录至 code.log 并持续重试，确保视频数据输入链路不中断。

##### 2. 多模态分析与异常检测模块实现

多模态分析与异常检测模块是系统核心分析单元，承接视频处理模块输出的标准化帧数据，完成视频内容语义解析与异常行为判定。

##### (1) 模型调用配置

在 config.py 中集中配置 Qwen-VL 模型核心参数，实现模型调用的标准化管理，核心配置示例如下：

```
# config.py 核心配置
```

```
QWEN_VL_API_KEY = "your_api_key" # 模型调用密钥
```

```
PROMPT_TEMPLATE = "分析以下视频帧内容，判断是否存在【{}】等异常行为，仅返回“正常/异常”+异常类型（如有）" # 自定义提示词模板
```

```
SIMILARITY_THRESHOLD = 0.7 # 异常匹配阈值
```

用户可通过修改 PROMPT\_TEMPLATE 占位符内容，自定义异常检测场景（如人员翻越围栏），适配不同安防场景需求。

##### 3. 预警服务模块实现

预警服务模块承接异常检测模块的判定结果，核心实现异常事件的实时推送与异常数据的留存，保障异常事件可感知、可

追溯。

##### (1) WebSocket 推送服务

基于 websockets 库搭建异步 WebSocket 服务，绑定本地 16532 端口，设计双链路推送机制：预警消息推送链路（ws://localhost:16532/alerts）在检测到异常后，构造包含异常类型、时间戳、关键帧截图 Base64 编码的 JSON 格式预警消息，通过长连接推送给客户端；视频流推送链路（ws://localhost:16532/video\_feed）将实时视频帧编码为 JPEG 格式（质量系数 0.8），以字节流形式持续推送，支持客户端实时视频预览。预警消息 JSON 格式示例如下：

```
{
  "event_type": "跌倒",
  "timestamp": "2026-01-15 12:00:30",
  "screenshot": "base64_encoded_image",
  "status": "warning"
}
```

##### (2) 异常数据保存

触发预警后自动执行异常数据保存逻辑：提取异常时刻关键帧，通过 cv2.imwrite() 保存至 video\_warning 目录，命名格式为 {异常类型}\_{时间戳}.jpg；截取异常发生前 3 秒至后 2 秒的视频片段，通过 cv2.VideoWriter 编码为 MP4 格式，存储至 video\_warning/ 目录，完整留存异常场景数据。

#### 4. 核心模块全流程闭环

架构分三层：视频处理模块（数据输入层）依次完成多源视频适配、帧提取缓存与异常处理，输出标准化帧；多模态分析模块（核心分析单元）通过集中化配置调用模型判定异常；预警服务模块（结果落地层）以 WebSocket 推送预警并留存本地数据，三层按“输入-分析-落地”单向流转，设计视频异常检测的全流程闭环。

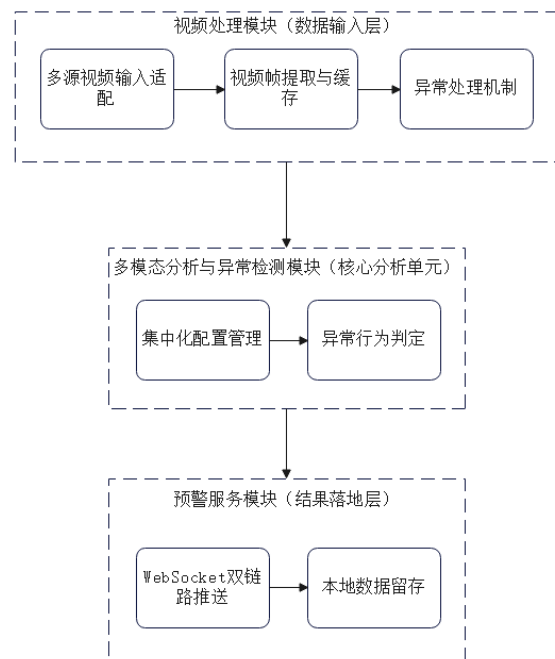


图2三层核心模块图

## 四、结束语

本文设计 AI 的居家老人跌倒监测与预警系统，完整覆盖“多源视频输入 - 多模态分析 - 实时预警 - 数据存储”全链路。系统通过 OpenCV 适配本地视频与 RTSP 流，依托 Qwen-VL 模型提升异常检测精度，借助 WebSocket 实现低延迟推送。

系统存在可优化空间，如 RAG 模块需自行配置、复杂环境检测精度有待提升。未来将引入轻量化模型优化部署效率，融合目标检测算法强化复杂场景适配，完善 RAG 模块一体化。

## 参考文献

- [1] 国家卫生健康委员会. 中国老年人跌倒预防指南 (2022 版) [J]. 中华老年医学杂志, 2022, 41 (10): 1153-1208.
- [2] 聂影, 邵世云龙. 基于 ADXL345 倾角传感器的老人防跌倒检测与报警系统 [J]. 科技风, 2020 (34): 22-23. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202034011.
- [3] 陆寅, 朱铝芬, 杨帆. 老人跌倒报警器的设计 [J]. 物联网技术, 2020, 10 (04): 82-83. DOI: 10.16667/j.issn.2095-1302.2020.04.024.
- [4] 许继平, 李景涛, 彭森, 等. 基于三轴加速度传感器的老年人摔倒检测系统 [J]. 计算机仿真, 2014, 31 (12): 434-437.
- [5] 王鹏, 王慧, 孔凡宁, 等. 基于 FPGA 的视频监控摔倒检测报警系统 [J]. 电机与控制学报, 2019, 23 (8): 122-128.
- [6] 李刚, 王颖, 张涛. 基于多模态融合的视频异常行为检测算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2023, 40(8): 2412-2416.
- [7] 刘畅, 陈杰, 吴昊. 基于深度学习的智能视频监控系统设计及实现 [C]// 第二十届全国图象图形学学术会议论文集, 2021: 356-361.
- [8] Bradski G, Kaehler A. Learning OpenCV 4: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library[M]. O'Reilly Media, 2019.
- [9] Reimers N, Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks[C]//EMNLP 2019, 2019: 3982-3992.
- [10] 通义千问官方文档. Qwen2.5-VL 视觉语言模型 API 使用指南 [EB/OL]. [https://help.aliyun.com/document\\_detail/2512442.html](https://help.aliyun.com/document_detail/2512442.html), 2024.
- [11] 张明宇. 基于 WebSocket 的实时数据推送技术研究及实现 [D]. 北京邮电大学, 2022.