

Hệ thống phát hiện và cảnh báo té ngã thời gian thực tích hợp cảm biến, xử lý ảnh và định vị

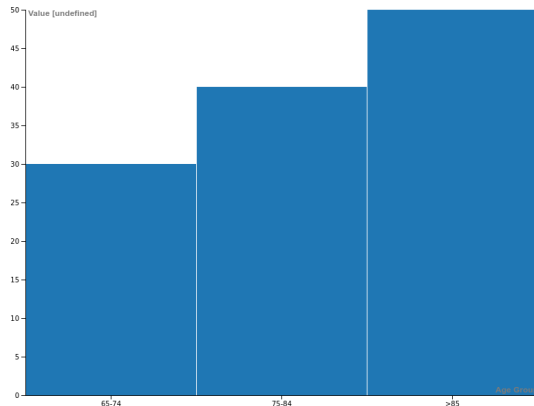
Trần Đức Hảo

Trường Đại học BK.HCM

Ngày 22 tháng 9 năm 2025

Té ngã: Vấn đề chung toàn cầu

- Nguyên nhân chính gây chấn thương và tử vong không cố ý.
- **WHO**: ~ 646,000 ca tử vong/năm;
> 80% ở các nước thu nhập trung bình/thấp.
- Người cao tuổi: **30%** té ngã/năm ở người > 65 tuổi, tăng lên **50%** ở người > 85 tuổi.



Hình: Tỷ lệ té ngã theo nhóm tuổi

Tổng quan các phương pháp phát hiện té ngã

- **Dựa trên thị giác (Vision-based):** Sử dụng camera và thuật toán nhận diện tư thế người (MediaPipe, OpenPose).
- **Dựa trên cảm biến đeo (Wearable-based):** Dùng cảm biến quán tính (IMU, MPU6050) trên thiết bị.
- **Kết hợp đa phương thức (Multi-modal):** Tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn để tăng độ chính xác.

Nghiên cứu trong và ngoài nước

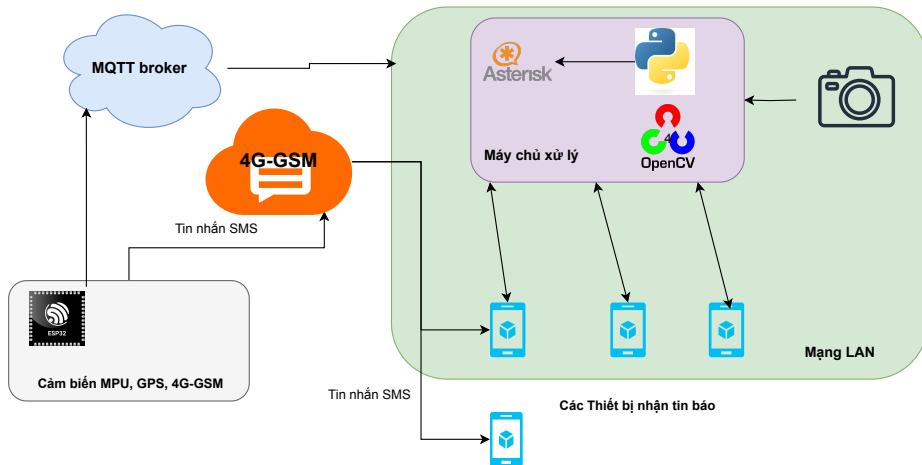
Quốc tế

- **Xu hướng:** Sử dụng YOLO, Transformer, AI nhẹ, cảm biến mmWave.
- **Thành tựu:** Giảm false alarm, tối ưu cho thiết bị biên, Sensor Fusion.

Trong nước

- **Thực trạng:** Chủ yếu mô hình thử nghiệm (PoC) với ESP32, Arduino.
- **Hạn chế:** Thiếu dữ liệu lớn, độ chính xác thấp (75-85%), thiếu tích hợp đa phương thức.

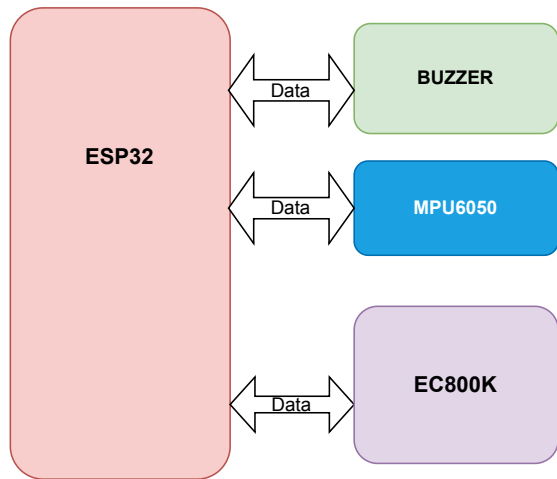
Kiến trúc hệ thống tổng thể



Hình: Sơ đồ hệ thống tổng thể

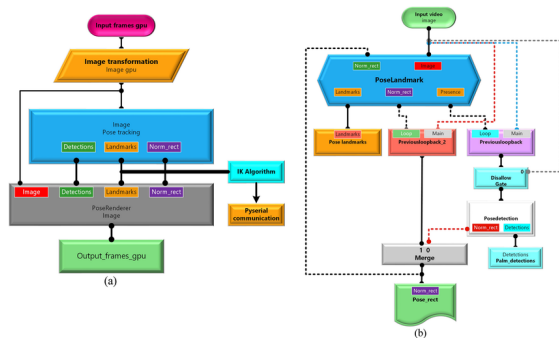
Hệ thống nhúng (ESP32)

- **Phần cứng:** ESP32, MPU6050, GPS EC800K.
- **Nguyên lý:** Phát hiện té ngã dựa trên ngưỡng động học.
- **Giao tiếp:** Gửi cảnh báo qua **MQTT và SMS**.
- **Ưu điểm:** Thiết bị độc lập, tiết kiệm năng lượng, dễ mở rộng.



Hệ thống phân tích hình ảnh

- **Công nghệ:** MediaPipe, OpenCV, YOLO để trích xuất các điểm khớp xương (keypoints) và phân tích tư thế.
- **Quy trình:** Phân tích góc nghiêng, vận tốc, tỉ lệ khung xương để nhận diện té ngã.
- **Thuật toán:** Sử dụng các mô hình học máy (ML) như SVM, Decision Tree.



Hình: Pipeline MediaPipe + YOLO

Hiệu năng và Giới hạn

Mục tiêu Hiệu năng

- Tổng độ trễ < 5 giây.
- Độ chính xác $> 90\%$, False Alarm $< 8\%$.
- Uptime dịch vụ MQTT $> 99\%$.

Giới hạn nghiên cứu

- Hoạt động trong nhà với điều kiện ánh sáng và mạng ổn định.
- Nguyên mẫu **ESP32** chưa tích hợp học sâu toàn phần.
- Không phát triển app di động/web phức tạp.

Tóm tắt Giới thiệu

Nội dung

Tổng quan

Mô tả

Hệ thống phát hiện và cảnh báo té ngã thời gian thực tích hợp cảm biến, xử lý ảnh và định vị: Giải pháp giám sát sức khỏe chủ động cho người cao tuổi và bệnh nhân tích hợp **IMU** và **Thị giác Máy tính (CV)**.

Khoảng trống kỹ thuật

Thiếu giải pháp tích hợp **Human Pose Estimation** (MediaPipe Pose) với phần cứng nhúng chi phí thấp (**ESP32**). Kết hợp **độ chính xác cao (CV)** và **tính di động, tích hợp (IMU)**.

Mục tiêu nghiên cứu

Xây dựng hệ thống phát hiện té ngã **đáng tin cậy, hiệu quả**, phân tích sự kiện ở giai đoạn với dữ liệu **đa cảm biến**.

Tiếp theo

Chương *Cơ sở Lý thuyết*: Nguyên lý **CV**, **HPE**, **Hệ thống nhúng** cho thiết kế giải pháp.

Các phương pháp phát hiện té ngã

Phương pháp	Cơ chế	Ưu điểm	Nhược điểm
Đeo đeo	IMU (gia tốc kế, con quay hồi chuyển); phát hiện gia tốc/tư thế bất thường	Phản hồi nhanh; chính xác; chi phí thấp	Cần đeo liên tục; dễ false positive; pin/hiệu chuẩn
Môi trường	Cảm biến cố định: sàn áp suất, PIR, âm thanh; AI phân tích	Không xâm phạm; giám sát nhiều người; tích hợp smart home	Chi phí cao; phạm vi hạn chế; nhầm vật thể
Thị giác	Camera RGB/RGB-D/IR; pose estimation (OpenPose/MediaPipe)	Thông tin trực quan; không cần đeo; tích hợp giám sát	Quyền riêng tư; phụ thuộc ánh sáng; cần phần cứng mạnh
Đa phương thức	Kết hợp IMU + camera + môi trường; data fusion (Kalman/Deep Learning)	Độ chính xác cao; giảm cảnh báo sai; mở rộng phạm vi; kinh tế	Phức tạp; tốn năng lượng; đồng bộ khó

- Kết hợp dữ liệu để xác nhận té ngã, giảm false positive.
- Chế độ linh hoạt: In-situ (cục bộ) + Mobile (edge device).
- Bảo mật: xử lý cục bộ, chỉ gửi dữ liệu tối thiểu, tùy chỉnh khu vực nhạy cảm.

Các Giao Thức Truyền Thông trong Hệ Thống Cảnh Báo IoT

Hệ thống phát hiện ngã với ba giao thức chính.

- **SIP**: Truyền tải âm thanh/video cảnh báo thời gian thực
- **MQTT**: Vận chuyển dữ liệu cảm biến từ thiết bị IoT
- **JSON**: Định dạng cấu trúc dữ liệu trao đổi

Mục tiêu

Xây dựng hệ thống cảnh báo không gián đoạn, độ trễ thấp từ cảm biến đến cuộc gọi VoIP

Giao thức SIP - Khởi tạo Phiên

Chức năng chính:

- Thiết lập cuộc gọi VoIP từ hệ thống cảnh báo
- Kết nối với Asterisk PBX để gọi điện thoại
- Truyền âm thanh cảnh báo qua RTP

Các bước hoạt động:

- 1 REGISTER: Đăng ký thiết bị với server
- 2 INVITE: Khởi tạo cuộc gọi cảnh báo
- 3 ACK: Xác nhận kết nối thành công
- 4 RTP: Truyền dữ liệu âm thanh
- 5 BYE: Kết thúc cuộc gọi

Phân biệt Đường tín hiệu và Đường truyền phương tiện trong SIP

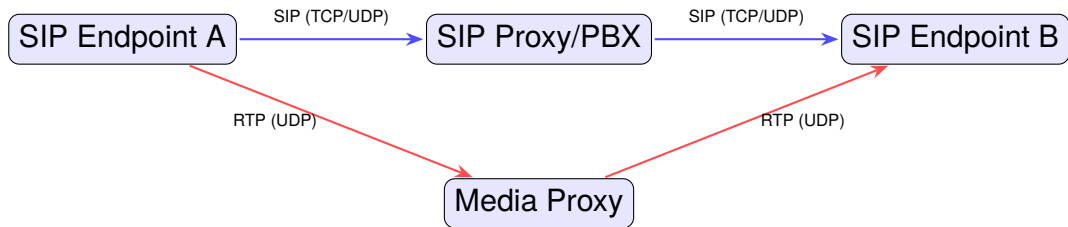
Đường tín hiệu (Signaling Path)

- Mang các tin nhắn SIP (INVITE, BYE, 200 OK, v.v.)
- Thiết lập, quản lý và kết thúc cuộc gọi
- Sử dụng TCP hoặc UDP

Đường truyền phương tiện (Media Path)

- Mang dữ liệu thoại/video thực tế
- Sử dụng RTP qua UDP
- Truyền trực tiếp giữa các điểm cuối

Sơ đồ Đường tín hiệu và Đường truyền phương tiện



Giao thức ICE (Interactive Connectivity Establishment)

Vấn đề

Các thiết bị thường nằm sau NAT/firewall, ngăn cản truyền dữ liệu RTP trực tiếp

Giải pháp ICE

- **Local IP:** Địa chỉ IP nội bộ của thiết bị
- **STUN:** Phát hiện địa chỉ IP công cộng và cổng NAT
- **TURN:** Máy chủ chuyển tiếp khi STUN thất bại

SIP trong phần mềm mã nguồn mở Asterisk

Lợi ích

- **Quản lý tập trung:** Đồng nhất cấu hình và quản lý thiết bị
- **Tương thích cao:** Hỗ trợ đa dạng nền tảng và thiết bị
- **Chuẩn mở:** Tích hợp dễ dàng với hạ tầng hiện có
- **Bảo mật:** Hỗ trợ TLS (SIP) và SRTP (RTP)

Vai trò của Asterisk

Đóng vai trò như SIP server, xử lý đăng ký và định tuyến cuộc gọi

Tích Hợp SMS qua SIP

Cấu hình

- Kích hoạt textsupport=yes trong sip.conf
- Định nghĩa logic xử lý trong extensions.conf

Thực hiện

- Sử dụng lệnh MessageSend
- Gửi tin nhắn SIP MESSAGE
- Tích hợp SMS gateway để chuyển tiếp sang mạng di động

Giao thức MQTT - Tổng quan

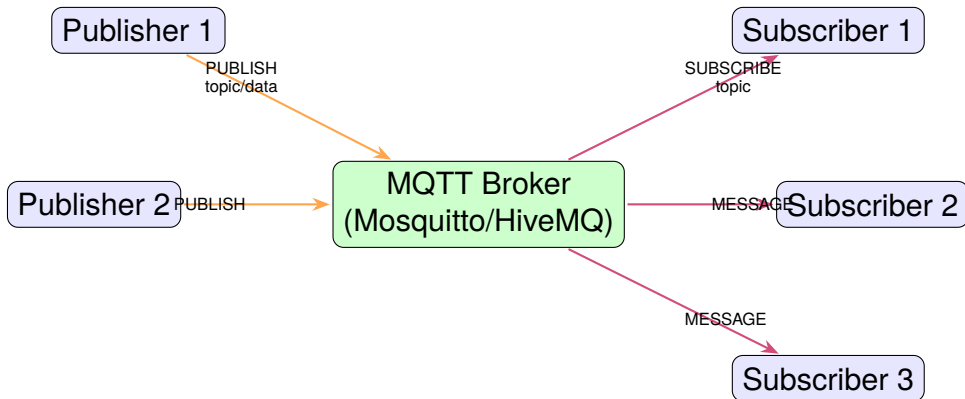
Định nghĩa MQTT

- MQTT = Message Queuing Telemetry Transport
- Giao thức nhẹ, tối ưu cho IoT và M2M
- Hoạt động trên TCP/IP với cơ chế kết nối lâu dài

Đặc điểm MQTT

- Thiết kế cho thiết bị có tài nguyên hạn chế
- Phù hợp với băng thông thấp, kết nối không ổn định
- Tiêu chuẩn OASIS cho IoT messaging

Kiến trúc Publish/Subscribe của MQTT



Lợi ích của mô hình Publish/Subscribe

Tách rời	Lợi ích
Không gian	Publisher và Subscriber không cần biết địa chỉ IP của nhau, giao tiếp qua
Thời gian	Không yêu cầu kết nối đồng thời, hỗ trợ retained messages và clean sess
Đồng bộ	Truyền/nhận độc lập, giảm độ trễ và tăng hiệu suất

Quality of Service (QoS)

Mức	Đặc điểm	Ứng dụng
QoS 0	"Fire and forget", nhanh nhưng có thể mất message	Dữ liệu cảm biến thường
QoS 1	Đảm bảo gửi ít nhất một lần, có thể trùng lặp	Cân bằng độ tin cậy và
QoS 2	Đảm bảo gửi đúng một lần, tin cậy nhất nhưng chậm	Dữ liệu quan trọng

Bảo mật trong MQTT

Mã hóa Transport Layer

- Hỗ trợ TLS/SSL cho kết nối bảo mật
- MQTT over TLS (port 8883)
- Bảo vệ dữ liệu trong quá trình truyền

Xác thực và Ủy quyền

- Username/Password authentication
- Client certificates cho xác thực mạnh
- Access Control Lists (ACL) kiểm soát quyền truy cập topic

Các lệnh MQTT chính

Connection Management

- CONNECT/CONNACK: Khởi tạo và xác nhận kết nối
- DISCONNECT: Ngắt kết nối graceful

Messaging Operations

- PUBLISH: Gửi message tới topic
- PUBACK/PUBREC/PUBREL/PUBCOMP: QoS acknowledgments
- SUBSCRIBE/SUBACK: Đăng ký và xác nhận topic
- UNSUBSCRIBE: Hủy đăng ký topic

Keep Alive

PINGREQ/PINGRESP: Duy trì kết nối

MQTT trong Hệ thống IoT và Cảnh báo

Ứng dụng trong IoT

- Thu thập dữ liệu sensors, điều khiển thiết bị
- Giám sát hệ thống, gửi thông báo

Lợi ích cho hệ thống cảnh báo

- Kết nối đáng tin cậy, truyền real-time
- Hỗ trợ offline messaging, scale tốt

Giao thức MQTT - Truyền Dữ Liệu Cảm Biến

Đặc điểm:

- Nhẹ, tiết kiệm băng thông cho IoT
- Mô hình Publish/Subscribe qua Broker
- Hỗ trợ 3 mức QoS đảm bảo độ tin cậy

Ví dụ topic: `sensor/room/temperature, alert/fall/detected`

JSON - JavaScript Object Notation

Định nghĩa và Đặc điểm

- Định dạng dữ liệu nhẹ, dễ đọc, độc lập ngôn ngữ
- Cấu trúc cặp `key:value`, dùng cho trao đổi dữ liệu
- Phổ biến trong IoT cho lưu trữ và truyền

Cấu trúc JSON cơ bản

Cấu trúc dữ liệu

- **Object:** {key: value}
- **Array:** [value1, value2]
- **Kiểu giá trị:** String, Number, Boolean, null, Object, Array

Ví dụ JSON

```
1 {  
2   "device_id": "ESP32_001",  
3   "temperature": 25.5,  
4   "sensors": ["temp", "light"]  
5 }
```

Ứng dụng JSON trong IoT

Lưu cấu hình và Trao đổi dữ liệu

- Cấu hình thiết bị (Wi-Fi, MQTT), thông số cảm biến
- Định dạng payload cho MQTT, API, gửi cảnh báo

Ví dụ: Cấu hình ESP32 và Payload MQTT

```
1 {  
2   "network": {  
3     "ssid": "IoT_Network",  
4     "mqtt_broker": "192.168.1.100"  
5   },  
6   "alert": {  
7     "fall_detected": true,  
8     "timestamp": "2025-09-17T12:00:00"  
9   }  
10 }
```

Một số Thư viện JSON cho hệ thống nhúng

json-c và FirebaseJson

- json-c: Phân tích cú pháp, tạo JSON cho C/C++
- FirebaseJson: Dễ dùng, hỗ trợ JSON phức tạp cho IoT

JSON trong MQTT và SIP

Tích hợp

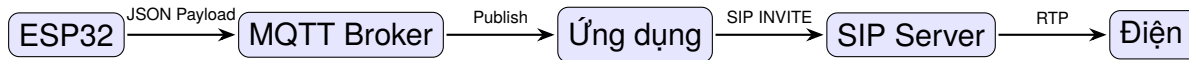
- Payload JSON trong MQTT topic sensor/data
- Dữ liệu JSON trong SIP MESSAGE hoặc custom headers
- Đảm bảo tương tác giữa các giao thức IoT

JSON và Tích Hợp Hệ Thống

Vai trò JSON:

- Định dạng nhẹ, tương thích, tối ưu payload

Luồng tích hợp:



Hình: Luồng dữ liệu từ cảm biến đến cảnh báo

Kết Luận và Tối Ưu Hóa

Lợi ích kết hợp:

- MQTT: Thu thập dữ liệu hiệu quả
- JSON: Cấu trúc linh hoạt
- SIP: Cảnh báo âm thanh tức thì

Tối ưu:

- Payload JSON nhỏ gọn
- QoS MQTT phù hợp
- Tự động reconnect
- Bảo mật TLS

Định nghĩa và Mục tiêu

Định nghĩa

Thị giác Máy tính (CV): Lĩnh vực AI cho phép máy tính xử lý, phân tích và diễn giải hình ảnh/video, mô phỏng thị giác con người.

Mục tiêu

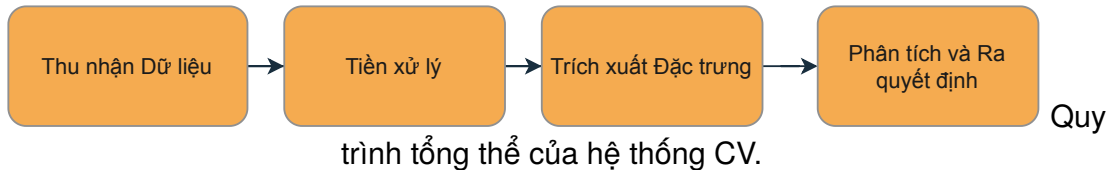
- Tái tạo khả năng nhận thức thị giác với tốc độ, độ chính xác và quy mô vượt trội.
- Ứng dụng trong Hệ thống phát hiện và cảnh báo té ngã thời gian thực tích hợp cảm biến, xử lý ảnh và định vị, đặc biệt là **Ước lượng Tư thế Người (HPE)**.

Pipeline Cơ bản của Hệ thống CV

Quy trình

- 1 **Thu nhận dữ liệu:** Thu thập ảnh/video từ camera.
- 2 **Tiền xử lý:** Chuẩn hóa kích thước, điều chỉnh sáng/tương phản, giảm nhiễu.
- 3 **Trích xuất đặc trưng:** Chuyển pixel thành đặc trưng trừu tượng (cạnh, góc, kết cấu).
- 4 **Phân tích và quyết định:** Phân loại, nhận dạng hoặc ước lượng tư thế.

Minh họa



Phân loại Bài toán CV

Các bài toán cốt lõi

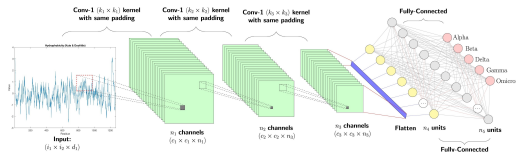
- **Phân loại Ảnh:** Gán nhãn cho toàn bộ ảnh (VD: "Người", "Xe").
- **Phát hiện Đối tượng:** Xác định vị trí và nhãn bằng hộp giới hạn.
- **Phân đoạn Ảnh:**
 - **Ngữ nghĩa:** Gán nhãn từng pixel (VD: Đường, Cây).
 - **Thể hiện:** Phân biệt các cá thể cùng lớp.
- **Ước lượng Tư thế Người (HPE):** Xác định tọa độ **khớp keypoint** để phân tích chuyển động.

Mô hình Học sâu: CNN

- **Mạng Nơ-ron Tích chập (CNN):** Kiến trúc chủ đạo cho xử lý ảnh.
- **Phép tích chập:** Trích xuất đặc trưng cục bộ:

$$(I * K)(i, j) = \sum_m \sum_n I(i - m, j - n) K(m, n) \quad (1)$$

- **Phép gộp:** Giảm kích thước, tăng tính bền vững (VD: Max Pooling).



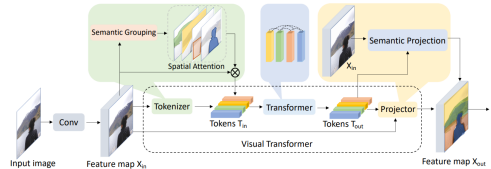
Hình: Phép tích chập và gộp.

Mô hình Học sâu: Vision Transformer

- **Vision Transformer (ViT):** Chia ảnh thành **miếng vá**, xử lý như token.
- **Tự chú ý (Self-Attention):**

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (2)$$

- Học quan hệ toàn cục, vượt giới hạn của CNN.



Hình: Kiến trúc ViT.

Tập dữ liệu và Metrics Đánh giá

Tập dữ liệu

- **ImageNet**: Phân loại ảnh (>14 triệu ảnh).
- **COCO**: Phát hiện, phân đoạn đối tượng.
- **MPII, COCO Keypoints**: Ước lượng tư thế người (HPE).

Metrics đánh giá

- **IoU**: Đo độ trùng khớp hộp giới hạn.
- **mAP**: Trung bình độ chính xác cho phát hiện đối tượng.
- **F1-score**: Cân bằng Precision và Recall.
- **OKS**: Đo độ chính xác khớp trong HPE.

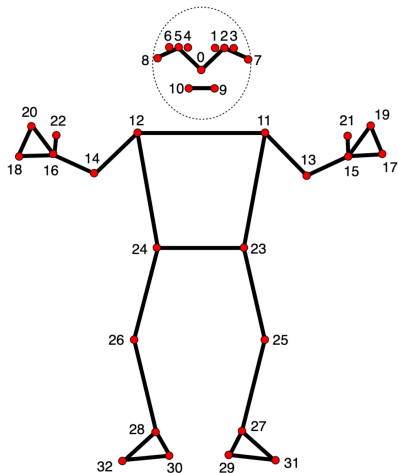
Nhận diện Tư thế Người và Phát hiện Té ngã

Tổng quan

Hệ thống tích hợp nhận diện tư thế (MediaPipe Pose) và phát hiện té ngã dựa trên đặc trưng động học/tư thế.

- Ứng dụng: Giám sát an toàn, phát hiện té ngã.
- Nền tảng: Thị giác máy tính thời gian thực.

Nhận diện Tư thế Người



Khái niệm

Ước lượng vị trí khớp từ hình ảnh/video:

$$\mathcal{K} = \{k_i = (x_i, y_i, z_i, c_i)\}$$

(c_i là confidence score cho mỗi keypoint).

Phương pháp

- **Top-down:** Phát hiện người trước, sau đó keypoints (MediaPipe).
- **Bottom-up:** Keypoints trước, nhóm thành người sau (OpenPose).

Keypoints cơ bản trong HPE (Human

MediaPipe Pose – Kiến trúc BlazePose

Kiến trúc BlazePose

BlazePose tối ưu HPE 3D với:

- **Nodes:** Các module xử lý tín hiệu hình ảnh.
- **Edges:** Luồng dữ liệu đồng bộ giữa các module.

(Nodes = các bước tính toán; Edges = kết nối dữ liệu giữa các bước).

MediaPipe Pose – Thành phần Hậu xử lý

Thành phần chính

- **Detection:** ROI từ ảnh RGB, phát hiện người.
- **Landmark:** 33 keypoints 3D, Loss: $\mathcal{L} = \sum \lambda_i \mathcal{L}_i$.
- **Tracking:** Dự đoán vị trí ROI cho khung tiếp theo.

(Landmark 3D giúp đánh giá tư thế và động tác).

Hậu xử lý

- **One Euro Filter:** Làm mịn nhiễu trong dữ liệu keypoints.
- **Chuẩn hóa z :** Dựa trên hông, tăng độ chính xác 3D.

Thuật toán Phát hiện Té ngã

Đặc trưng Động học

- **Vận tốc COM:** $\vec{v}_{\text{COM}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$
- **Gia tốc:** $a = \frac{\|\Delta \vec{v}\|}{\Delta t}$

Đặc trưng Tư thế

- **AR (Aspect Ratio):** Tăng khi người nằm ngang
 - θ_{body} : Góc vai-hông
 - Δh_{head} : Giảm chiều cao đầu
- (AR, θ , Δh giúp xác định tư thế bất thường).*

Ba Giai đoạn Phát hiện

- 1 **Sớm:** Tốc độ/gia tốc COM cao
- 2 **Xác nhận:** AR, θ_{body} chỉ nằm ngang
- 3 **Bất động:** Chuyển động $< M_{th}$

Thuật toán Phát hiện Té ngã

Đặc trưng Động học

- **Vận tốc COM:** $\vec{v}_{\text{COM}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$
- **Gia tốc:** $a = \frac{\|\Delta \vec{v}\|}{\Delta t}$

Đặc trưng Tư thế

- **AR (Aspect Ratio):** Tăng khi người nằm ngang
 - θ_{body} : Góc vai-hông
 - Δh_{head} : Giảm chiều cao đầu
- (AR, θ , Δh giúp xác định tư thế bất thường).*

Ba Giai đoạn Phát hiện

- 1 **Sớm:** Tốc độ/gia tốc COM cao
- 2 **Xác nhận:** AR, θ_{body} chỉ nằm ngang
- 3 **Bất động:** Chuyển động $< M_{th}$

Tổng quan Kiến trúc Hệ thống Phát hiện Té ngã

Phân loại hệ thống

- **Dựa trên Camera:** Xử lý hình ảnh cố định, yêu cầu máy chủ mạnh
- **Dựa trên Thiết bị đeo:** Cảm biến IMU, ESP32, truyền thông di động

Ba thành phần cốt lõi

- ❶ **Thiết bị Thu thập Dữ liệu:** IMU, Camera, GPS
- ❷ **Máy chủ/Xử lý:** Phân tích dữ liệu, Học sâu
- ❸ **Truyền thông:** Wi-Fi, 4G/LTE đảm bảo kết nối

Vi điều khiển ESP32

Đặc điểm chính

- Lõi kép Xtensa LX6, FreeRTOS
- Wi-Fi + Bluetooth tích hợp
- Hỗ trợ MQTT, HTTP

Phân công nhiệm vụ

- **Lỗi 1:** Xử lý thời gian thực (IMU, Kalman Filter)
- **Lỗi 2:** Truyền thông không dây

Lỗi 1

Lỗi 2

ESP32

Cảm biến IMU và GPS

IMU

- Gia tốc kế $a = [a_x, a_y, a_z]$
- Con quay hồi chuyển $\omega = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$
- Từ kế – xác định hướng
- Fusion: Kalman/Madgwick

GPS

- Module NEO-6M / EC800K
- Định vị NMEA, tọa độ cứu hộ
- Kết hợp truyền thông SMS/4G

Thuật toán Phát hiện Té ngã

Shock Event

$$\|a\| > a_{\text{shock}}$$

Gia tốc tăng vọt đột ngột

Post-fall State

- Gia tốc $\approx 1g$ (nằm yên)
- Tốc độ góc thay đổi lớn

Xử lý tại Biên (Edge) và Máy chủ

Edge (ESP32)

- Xử lý IMU thời gian thực
- Phát hiện té ngã sơ cấp
- Truyền dữ liệu JSON/MQTT

Cloud/Server

- Xử lý ảnh từ Camera (ESP32-S3 + OV5640)
- TensorFlow/PyTorch, OpenCV

Hệ thống Truyền thông

Wi-Fi (chính)

- Truyền tải dung lượng lớn (ảnh/video)
- MQTT với máy chủ
- Độ trễ thấp

4G/LTE (dự phòng)

- SMS/cuộc gọi khẩn
- Định vị GPS
- Hoạt động khi Wi-Fi lỗi

Logic Hoạt động Hệ thống

- ❶ ESP32 thu thập dữ liệu IMU/Camera
- ❷ Phát hiện té ngã sơ cấp tại biên
- ❸ Truyền dữ liệu lên máy chủ (ưu tiên Wi-Fi, dự phòng 4G)
- ❹ Máy chủ xử lý tin và phát cảnh báo
- ❺ Kích hoạt cảnh báo (SMS/cuộc gọi)

Môi trường Phát triển (ESP-IDF)

Đặc trưng của ESP-IDF

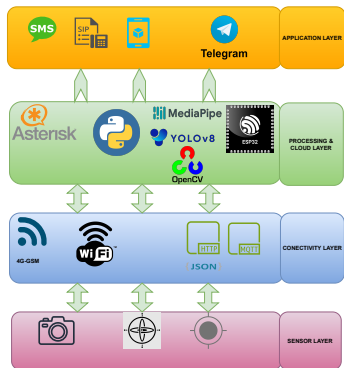
- **Build system CMake + Kconfig** – cấu hình linh hoạt, dễ mở rộng component
- **FreeRTOS tích hợp sẵn** – quản lý đa nhiệm trên 2 lõi Xtensa
- **Driver cấp thấp** – I2C, SPI, UART, PWM, GPIO được tối ưu cho ESP32
- **Hỗ trợ mạng phong phú** – Wi-Fi, Bluetooth, TCP/IP stack, MQTT, HTTP(S)

Lợi ích cho hệ thống Phát hiện Té ngã

- Quản lý **đa component** (IMU, SIM4G, LED, Fall Logic) độc lập
- Thực thi **song song**: lõi 1 xử lý cảm biến, lõi 2 lo truyền thông
- Hỗ trợ **OTA update** để nâng cấp firmware từ xa
- Debug chuyên nghiệp: `idf.py monitor`, `gdbstub`, logging

06_{background}_{summary}

Kiến trúc Hệ thống FDAS



Quy trình

- Minh họa kiến trúc hệ thống phát hiện té ngã và cảnh báo.

Mô tả

- **Lớp Thiết bị/Biên:** Thu thập dữ liệu.
- **Lớp Kết nối:** Truyền tải dữ liệu.
- **Lớp Xử lý/Đám mây:** Xử lý và ra quyết định.
- **Lớp Ứng dụng/UI:** Giao diện người dùng.

Lớp Thiết bị/Biên

ESP32 Module

- Cảm biến gia tốc & con quay
- Phát hiện mẫu chuyển động té ngã

Module GPS

- Thu thập vị trí địa lý
- Hỗ trợ giám sát ngoài trời

IP Camera

- Luồng video liên tục
- Giám sát trong nhà

Đặc điểm

2 nguồn dữ liệu độc lập

Lớp Kết nối

Kênh truyền

- Wi-Fi/4G/LTE
- Đảm bảo kết nối liên tục

MQTT Broker

- Mô hình Publish/Subscribe
- ESP32 → JSON data
- Server nhận real-time

Lớp Xử lý/Đám mây

Main Processing Server (Python)

- **MQTT Client:** Subscribe dữ liệu từ ESP32
- **AI & Image Processing:** YOLO model xử lý video
- **Business Logic:** Kết hợp 2 luồng dữ liệu → Quyết định cảnh báo

Asterisk Server

- Tổng đài PBX
- Cuộc gọi khẩn cấp (SIP)

Telegram Bot API

- Tin nhắn/hình ảnh
- Thông báo nhóm

Lớp Ứng dụng/Giao diện

Mobile/Web App

- Dashboard
- Lịch sử sự kiện
- Cấu hình

SIP Client

- Linphone/Zoiper
- Nhận cuộc gọi báo động

Telegram

- Thông báo trực tiếp
- Tương tác 2 chiều

Cảnh báo đa kênh: Gọi thoại + Nhắn tin

Thực hiện Phần cứng FDAS

Kiến trúc mô-đun

Hệ thống gồm 2 module hoạt động độc lập:

- **Module I:** Thiết bị đeo/Cảm biến - Thu thập chuyển động & định vị
- **Module II:** Camera giám sát - Xác nhận sự kiện qua hình ảnh

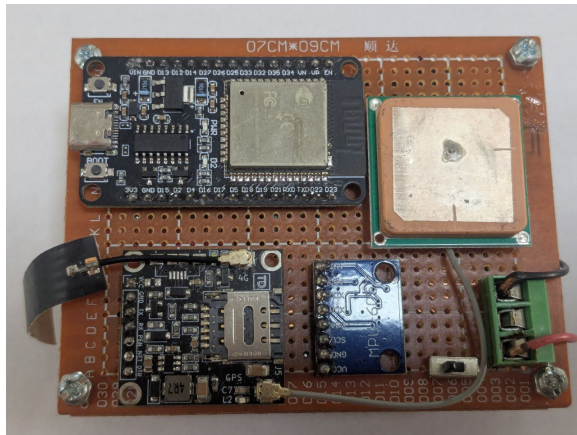
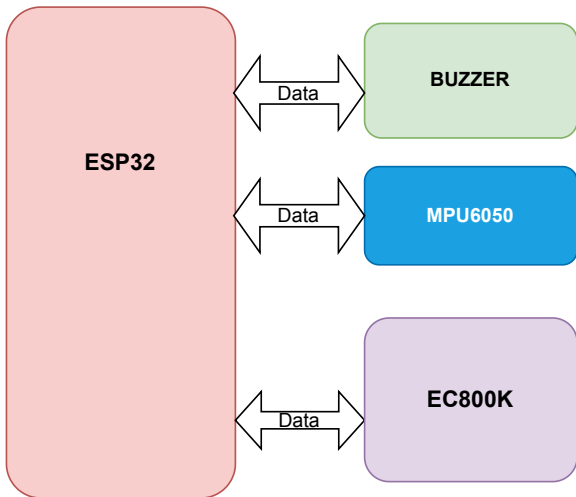
Ưu điểm

- Linh hoạt triển khai
- Giám sát phạm vi rộng
- Duy trì hoạt động khi 1 module lỗi

Nguyên lý

2 nguồn dữ liệu độc lập tăng độ tin cậy phát hiện

Module I: Thiết bị đeo/Cảm biến

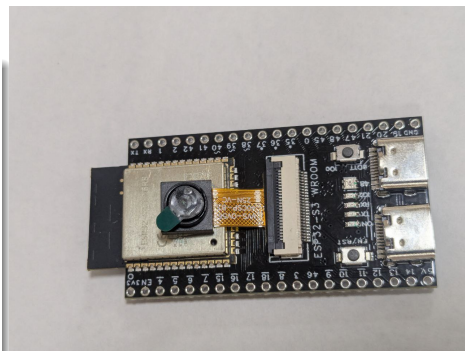


Hình: Module I thực tế

Module II: Camera giám sát

Thành phần chính

- **ESP32-S3-N16R8:**
 - Vi điều khiển mạnh mẽ
 - Tích hợp PSRAM
 - Giao diện camera chuyên dụng
- **Camera OV5640:**
 - Cảm biến 5MP
 - Đa kích thước (QQVGA-UXGA)
 - Bus 8-bit, 20MHz



Hình: Module II thực tế

Kết nối ESP32-S3 OV5640

Bảng: Sơ đồ kết nối chân

Chức năng	Chân ESP32-S3	Mô tả
XCLK	15	Xung nhịp camera
SIOD (SDA)	4	Dữ liệu I2C
SIOC (SCL)	5	Xung nhịp I2C
D0-D7	11,9,8,10,12,18,17,16	Bus dữ liệu 8-bit
VSYNC	6	Đồng bộ dọc
HREF	7	Tham chiếu ngang
PCLK	13	Xung nhịp điểm ảnh

Giao tiếp

SCCB (tương tự I2C) cho cấu hình + Bus song song 8-bit cho dữ liệu

Chi phí Phần cứng - Module I

Linh kiện	Chức năng	Giá (VNĐ)
ESP32-DevKitC-1	Vi điều khiển chính	110.000 - 125.000
MPU6050	Cảm biến IMU 6 trục	45.000 - 55.000
GPS antenna	Anten nhận GPS	35.000 - 60.000
GPS/4G EC800K	Định vị & gửi cảnh báo	240.000
Buzzer	Cảnh báo âm thanh	5.000 - 10.000
Tổng Module I		435.000 - 490.000

Đặc điểm Module I

Thiết bị đeo nhỏ gọn, chi phí hợp lý, tích hợp đầy đủ cảm biến

Chi phí Phần cứng - Module II

Linh kiện	Chức năng	Giá (VNĐ)
ESP32-S3-N16R8	Vi điều khiển xử lý ảnh	275.000 - 300.000
Camera OV5640	Cảm biến hình ảnh 5MP	150.000 - 200.000
Tổng Module II		425.000 - 500.000
TỔNG HỆ THỐNG		860.000 - 990.000

Module II

Camera giám sát cố định, xử lý hình ảnh AI

Tổng kết

Hệ thống hoàn chỉnh < 1 triệu VNĐ

Tổng quan Triển khai Phần mềm toàn bộ Hệ thống

Thành phần	Nền tảng	Công nghệ chính	Chức năng
Module I	ESP32	ESP-IDF, C/C++	Cảm biến đeo, phát hiện ngã
Module II	ESP32	ESP-IDF, OpenCV	Camera giám sát
Server	Linux	Python, MQTT	Xử lý trung tâm, AI
Asterisk	Linux Mint 21	PJSIP, AMI	Hệ thống VoIP

Kiến trúc Phân tán

- 4 thành phần độc lập
- Giao tiếp qua giao thức chuẩn
- Xử lý song song thời gian thực

Nguyên tắc Thiết kế

- Kiến trúc mô-đun
- Khả năng mở rộng cao
- Dễ bảo trì và nâng cấp

Hệ thống tích hợp với khả năng cảnh báo đa dạng và xử lý thông minh

Asterisk: Hệ thống Liên lạc và Xử lý Cuộc gọi SIP

Thông tin	Chi tiết	Chức năng
Phiên bản	Asterisk 22.5.1 on Linux Mint 21	Tổng đài VoIP nội bộ
pjsip.conf	Quản lý endpoint và xác thực	Kết nối thiết bị ESP32
extensions.conf	Định nghĩa Dial Plan	Xử lý cuộc gọi và SIP
manager.conf	Cấu hình AMI	Tương tác với Python

Vai trò chính

- Quản lý kênh giao tiếp thoại
- Kích hoạt cuộc gọi khẩn cấp
- Tích hợp với hệ thống

Luồng hoạt động

- Tiếp nhận tín hiệu từ ESP32
- Chuyển giao xử lý cho Python
- Điều phối cuộc gọi SIP

Asterisk: Cấu hình PJSIP và Endpoint

```
1 [transport-udp]
2 type=transport
3 protocol=udp
4 bind=0.0.0.0
5
6 [6001]
7 type=endpoint
8 disallow=all
9 allow=ulaw
10 auth=auth6001
11 aors=6001
12 context=internal
13
14 [auth6001]
15 type=auth
16 auth_type=userpass
17 username=6001
18 password=1234
```

Thành phần chính

Endpoint [6001]:

- Thiết bị cuối nhận tin báo
- Context: internal
- Codec: ulaw

Endpoint [server]:

- Điều phối SIP messages
- Kết nối với Python server

Chức năng

Asterisk: Cấu hình Dial Plan

```
1 [internal]
2 exten => 6001,1,Answer()
3 same => n,Dial(PJSIP/6001,20)
4 same => n,Hangup()
5
6 exten => 6000,1,Dial(PJSIP/6001&PJSIP/6002&PJSIP/6003,20)
7 same => n,Hangup()
8
9 [messages]
10 exten => _X.,1,NoOp(==> SIP MESSAGE from ${MESSAGE(from)})
11 same => n,MessageSend(pjsip:${EXTEN},pjsip:server)
12 same => n,NoOp(==> Send status: ${MESSAGE_SEND_STATUS})
13 same => n,Hangup()
```

Context [internal]

- Xử lý cuộc gọi nội bộ
- Extension 6001: thiết bị đơn
- Extension 6000: gọi nhóm

Context [messages]

- Xử lý tin nhắn SIP
- Chuyển tiếp đến server
- Kích hoạt xử lý Python

Asterisk: Cấu hình Asterisk Manager Interface (AMI)

```
1 [general]
2 enabled = yes
3 port = 5038
4 bindaddr = 127.0.0.1
5
6 [hx]
7 secret = 123
8 read = all
9 write = all
```

Bảo mật: Chỉ localhost

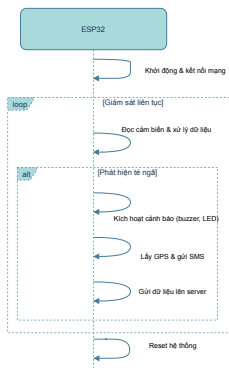
bindaddr = 127.0.0.1

Tham số	Chức năng
port 5038	Cổng kết nối AMI
[hx] account	Tài khoản Python server
read/write all	Quyền điều khiển đầy đủ

Vai trò AMI

- Giao diện lập trình API
- Python điều khiển Asterisk
- Lấy trạng thái cuộc gọi
- Gửi lệnh quản lý

Module cảm biến đeo: Luồng làm việc



Quy trình

- Điều phối từ thu thập dữ liệu cảm biến đến xử lý sự kiện và kích hoạt cảnh báo.
- Minh họa luồng làm việc:

Mô tả

- Lưu đồ luồng làm việc của mô-đun phát hiện té ngã trên ESP32.

Module cảm biến đeo: Tổng quan mô-đun nhúng

Tổng quan

- Triển khai trên vi điều khiển **ESP32**: nút cảm biến và trung tâm cảnh báo.
- Chức năng chính:
 - Thu thập dữ liệu chuyển động từ cảm biến.
 - Phân tích thuật toán phát hiện té ngã.
 - Cảnh báo thời gian thực: cục bộ (buzzer, LED) và từ xa (Wi-Fi/4G, MQTT, SMS).

Module cảm biến đeo: Môi trường phát triển

Chi tiết

- Phần mềm xây dựng trên **ESP-IDF** (Espressif IoT Development Framework).
- Hệ thống build: **CMake**, quản lý qua `idf_component.yml`.
- API: UART, I2C, SPI, PWM, GPIO, Wi-Fi, MQTT, HTTP.
- Cấu hình qua **Kconfig**, lưu trong `sdkconfig`.
- Đảm bảo ổn định, mở rộng, tương thích driver.

Module cảm biến đeo: Cấu trúc project

```
1 mainproject/  
2 |— main/  
3 |   |— main.c  
4 |   |— app_main.c  
5 |   |— app_main.h  
6 |— components/  
7 |   |— buzzer/  
8 |   |— comm/  
9 |   |— data_manager/  
10 |   |— event_handler/  
11 |   |— fall_logic/  
12 |   |— json_wrapper/  
13 |   |— led_indicator/  
14 |   |— mpu6050/  
15 |   |— sim4g_gps/  
16 |   |— user_mqtt/  
17 |   |— wifi_connect/
```

Module cảm biến đeo: Mô tả các thành phần

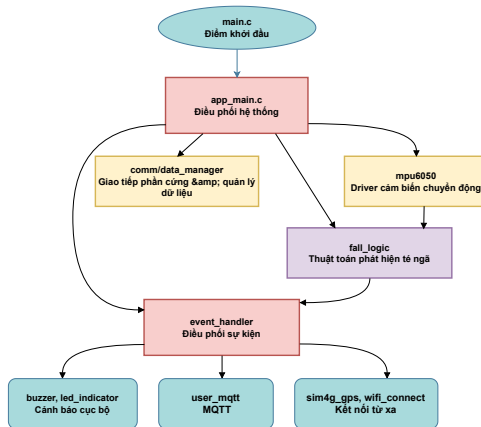
Thành phần chính

- **main.c**: Gọi `app_main()`.
- **app_main.c/h**: Điều phối, khởi tạo.
- **fall_logic**: Thuật toán phát hiện té ngã.
- **event_handler**: Phản ứng sự kiện.
- **mpu6050**: Driver cảm biến.

Thành phần khác

- **buzzer, led_indicator**: Cảnh báo cục bộ.
- **sim4g_gps, wifi_connect**: Kết nối từ xa.
- **user_mqtt**: Giao tiếp MQTT.
- **comm, data_manager**: Quản lý giao tiếp.

Module cảm biến đeo: Sơ đồ khối phần mềm



Hình: Sơ đồ khối phần mềm của mô-đun nhúng ESP32.

Module cảm biến đeo: Thuật toán phát hiện té ngã

Cơ chế

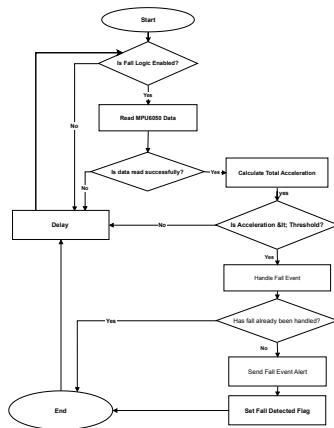
- Dựa trên **gia tốc tổng hợp**:

$$a_{total} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

- $a_{total} < \text{FALL_THRESHOLD}$: Đánh dấu sự kiện té ngã.
- Ngưỡng điều chỉnh qua `CONFIG_FALL_LOGIC_THRESHOLD_G`.
- Chạy trong **tác vụ FreeRTOS**, chu kỳ `CHECK_INTERVAL_MS`.

- 1 Đọc dữ liệu từ mpu6050.
- 2 Tính gia tốc tổng hợp, so sánh ngưỡng.
- 3 Gửi `EVENT_FALL_DETECTED` tới `event_handler`.
- 4 Đặt cờ `s_fall_detected`, reset qua `fall_logic_reset_fall_status()`.

Module cảm biến đeo: Lưu đồ thuật toán chứa trong component fall_logic



Hình: Lưu đồ thuật toán phát hiện té ngã.

Module camera: Tổng quan phần mềm

Tổng quan

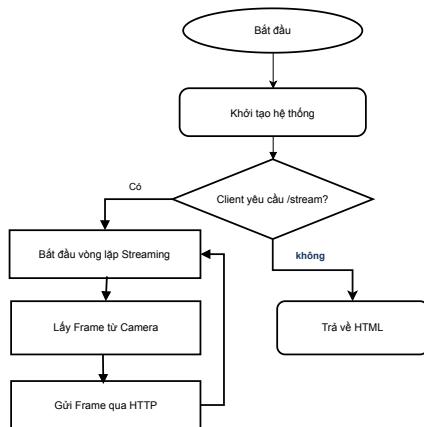
- Triển khai trên vi điều khiển **ESP32-S3**.
- Thu thập và truyền tải video từ camera **OV5640** theo thời gian thực.
- Cung cấp luồng video MJPEG qua HTTP cho các module xử lý thị giác máy tính.
- Dựa trên kiến trúc hướng sự kiện của **ESP-IDF**, quản lý đồng thời mạng, camera, và bộ đệm.

Module camera: Luồng hoạt động chính

Quy trình

- ➊ **Khởi tạo hệ thống:** Cấu hình Wi-Fi, camera, và máy chủ HTTP.
- ➋ **Chờ yêu cầu client:** Lắng nghe yêu cầu xem video.
- ➌ **Lấy khung hình:** Sử dụng triple buffering trên PSRAM để giảm độ trễ.
- ➍ **Gửi frame qua HTTP:** Frame JPEG đóng gói trong phản hồi HTTP multipart.
- ➎ **Giám sát và xử lý lỗi:** Kiểm tra FPS, xử lý ngắt kết nối client.

Module camera: Sơ đồ luồng hoạt động



Hình: Luồng hoạt động chính của phần mềm Module camera.

Module camera: Cấu hình phần mềm với Kconfig

Thông số chính

- **Wi-Fi:** SSID và Password để kết nối mạng.
- **Kích thước khung hình:** Từ QQVGA đến UXGA (chất lượng video, băng thông).
- **Chất lượng JPEG:** Giá trị 10–63 (độ nén hình ảnh).
- **Khoảng thời gian giữa các frame:** 0–200 ms (tốc độ khung hình, băng thông).

Module camera: Tối ưu hóa hiệu suất và ứng dụng

Kỹ thuật tối ưu

- **Quản lý bộ nhớ:** Sử dụng PSRAM cho buffer, giảm tải SRAM.
- **Triple buffering:** Chụp frame mới đồng thời với truyền frame cũ.
- **Giám sát hiệu suất:** Đo FPS thời gian thực, xử lý lỗi ngắt kết nối.

Ứng dụng

- Cầu nối giữa phần cứng và các module xử lý
- Đầu ra video HTTP cho thuật toán thị giác máy tính.

Hệ thống Xử lý Té ngã: Tích hợp và Phát hiện

Tổng quan

- Hệ thống Python tích hợp dữ liệu từ:
 - 1 **ESP32**: Trạng thái té ngã, GPS qua MQTT.
 - 2 **Camera IP**: Phát hiện người, theo dõi, ước lượng tư thế bằng AI.
- Đồng bộ, tích hợp dữ liệu để phát hiện té ngã, gửi cảnh báo, lưu sự kiện.

Hệ thống Xử lý Té ngã: Kiến trúc

Mô hình phân tầng

- **Lớp thu nhận:**
 - comm/: MQTT, Telegram Bot, AML.
 - detection/: Xử lý video, phát hiện người, theo dõi.
- **Lớp xử lý:** fall/, processing/ tích hợp qua DetectionProcessor.
- **Lớp đầu ra:** database/ lưu fall_events.db, comm/ gửi cảnh báo.

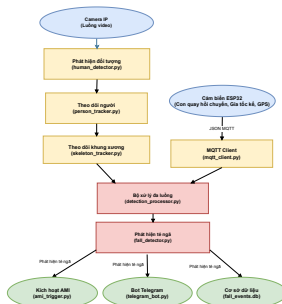
Hệ thống Xử lý Té ngã: Cấu trúc Thư mục

```
1 intergrate_fall/  
2 |— comm/ (MQTT, Telegram, AMI)  
3 |— config/ (cấu hình)  
4 |— database/ (fall_events.db)  
5 |— detection/ (human, tracker)  
6 |— fall/ (fall_detector.py)  
7 |— processing/ (detection_processor.py)  
8 |— utils/ (draw_utils.py)  
9 |— models/ (yolov8n.pt)  
10 |— tests/ (test_fall.py)  
11 |— main.py
```

Hệ thống Xử lý Té ngã: Luồng Xử lý

Quy trình

- 1 Thu nhận: ESP32 (MQTT), Camera IP (AI).
- 2 Tích hợp: DetectionProcessor đồng bộ dữ liệu.
- 3 Đầu ra: Lưu sự kiện, gửi cảnh báo qua AMI/Telegram.



Hệ thống Xử lý Té ngã: Tích hợp Dữ liệu

Quy trình

- Xác thực: ESP32 (device_id, fall_detected, GPS).
- Xử lý camera: Phát hiện người, ước lượng tư thế.
- Đồng bộ: Kiểm tra timestamp, cooldown (5 phút).
- Cảnh báo: AMI, Telegram (thử lại nếu lỗi).

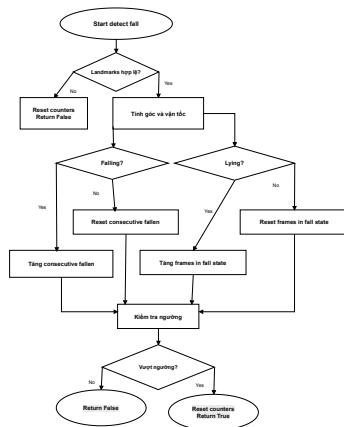
```
1 async def handle_camera_data(self, frame, person_id, box, landmarks):
2     entity_id = f"camera_person_{person_id}"
3     detector = self._get_or_create_detector(entity_id)
4     is_fall = detector.detect_fall(landmarks)
5     if is_fall and self._can_alert(entity_id):
6         fall_event = self._create_fall_event("camera", entity_id, 0, 0, False)
7         fall_id = await self._insert_fall_event_with_retry(fall_event)
8         alert_msg = f"Fall detected by camera for {entity_id}. ID: {fall_id}"
9         await self._send_alerts(alert_msg, frame)
```


Hệ thống Xử lý Té ngã: Thuật toán Phát hiện

Quy trình trong FallDetector

- **Kiểm tra:** Landmarks hợp lệ (độ tin cậy ≥ 0.5).
- **Tính toán:**
 - Góc thân người: Dọc ($> 60^\circ$), ngang ($> 45^\circ$).
 - Vận tốc: Dịch chuyển thân người (> 0.5 đơn vị).
- **Trạng thái:**
 - *Falling*: Góc và vận tốc vượt ngưỡng.
 - *Lying*: Góc vượt ngưỡng kéo dài.
- **Quyết định:** Bộ đếm ≥ 5 frame \rightarrow té ngã, đặt lại trạng thái.

Hệ thống Xử lý Té ngã: Lưu đồ Thuật toán



Hình: Luồng thuật toán phát hiện té ngã.

Hệ thống Xử lý Té ngã: Lưu trữ và Cảnh báo

Cơ chế

- **Lưu trữ:** SQLite fall_events.db (timestamp, source, entity_id, GPS).
- **Cảnh báo:** AMI, Telegram khi phát hiện té ngã.
- **Vòng lặp:** Thu thập → Xử lý → Tích hợp → Cảnh báo.

```
1 CREATE TABLE fall_events (  
2     id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,  
3     timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,  
4     source TEXT NOT NULL,  
5     entity_id TEXT NOT NULL,  
6     fall_detected BOOLEAN NOT NULL,  
7     latitude REAL,  
8     longitude REAL,  
9     has_gps_fix BOOLEAN,  
10    alert_status INTEGER DEFAULT 0  
11 );
```

08_m*ethod*_s*ummary*

01_{setup}

02_{results_detection}

03_{latency}

04_s*tability*

05 *results_summary*

01 *summary*

02_contribution

03_{imitations}

04_{futurework}

05_overall

01_t*hankyou*