Fall Detection System using ESP32 and 4G-GPS

Your Name

Your University

Ngày 17 tháng 9 năm 2025

Fall Detection System using ESP32 and 4G-GPS

Your Name

Your University

Ngày 17 tháng 9 năm 2025

Tác giả: Trần Đức Hảo
Người hướng dẫn: PSG.TS Hà Hoàng Kha

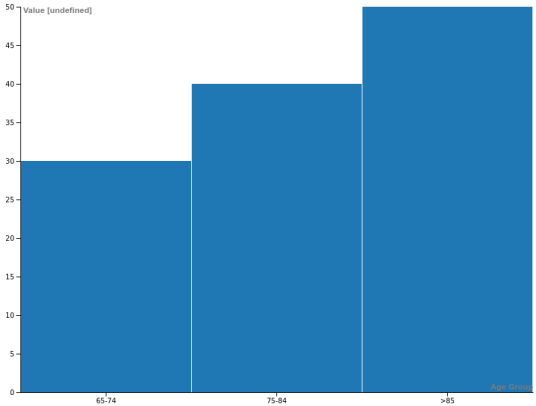
Khoa: Khoa Điện – Điện tử
Trường: Trường Đại học BK.HCM

Ngày 17 tháng 9 năm 2025

Mục lục

Té ngã: Mối đe dọa toàn cầu

- Nguyên nhân chính gây chấn thương và tử vong không cố ý.
- **WHO**: $\sim 646,000$ 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

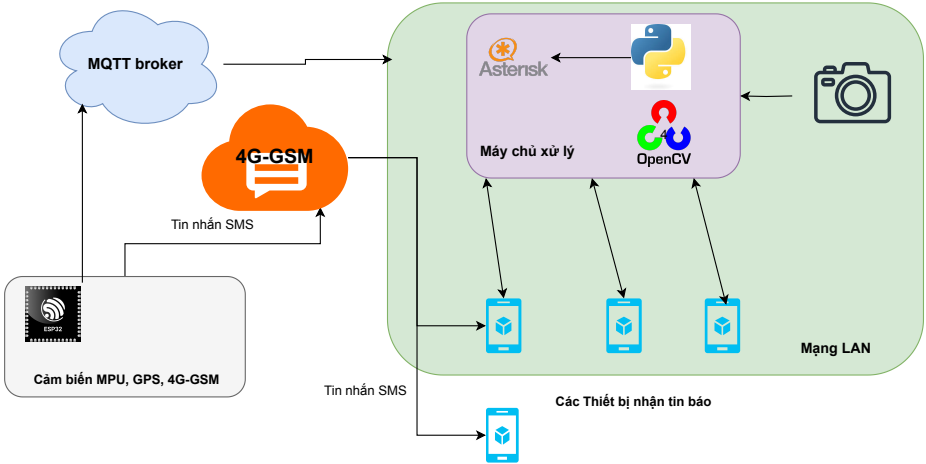
Quốc tế

- **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.

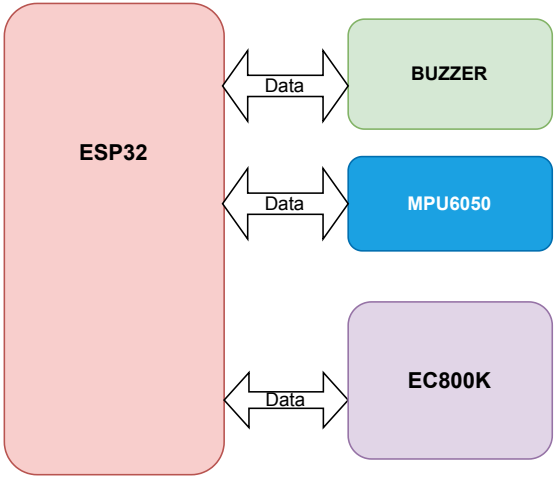
Kiến trúc hệ thống tổng thể



Hình: Sơ đồ hệ thống tổng thể

Hệ thống nhúng (ESP32)

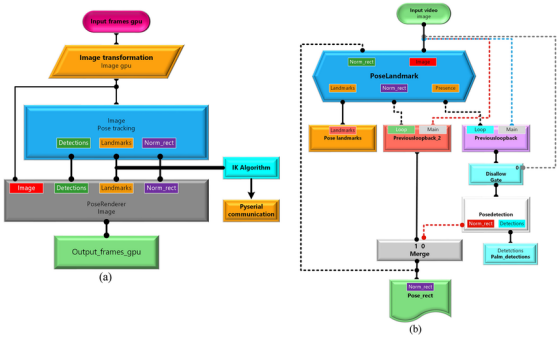
- **Phần cứng**: ESP32, MPU6050, GPS EC800K.
- **Nguyên lý**: Phát hiện té ngã dựa trên ngưỡng động học.
- **Giao tiếp**: Gửi cảnh báo qua **MQTT và SMS**.
- **Ưu điểm**: Thiết bị độc lập, tiết kiệm năng lượng, dễ mở rộng.



Hình: Sơ đồ nhúng ESP32 & truyền thông

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	**Mô tả**
Tổng quan	Hệ thống phát hiện và cảnh báo té ngã thời gian thực tích hợp cảm biến, xử lý ản và định vị: Giải pháp giám sát sức khỏe chủ động cho người cao tuổi và bệnh nhâ 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 cứn nhúng chi phí thấp (**ESP32**). Kết hợp **độ chính xác cao** (CV) và **tính di động, ti kiệm** (IMU).
Mục tiêu nghiên cứu	Xây dựng hệ thống phát hiện té ngã **đáng tin cậy**, **hiệu quả**, phân tích sự kiện đ 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 gi pháp.

Tổng quan các phương pháp phát hiện té ngã

Phương pháp	Cơ chế	Ưu điểm	Nhược điểm
Đeo được	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.

Hệ thống phát hiện ngã với ba giao thức cốt lõi

- **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

Lưu ý

Sử dụng ICE để xuyên NAT, TLS/SRTP để bảo mật

Phân biệt Đường tín hiệu và Đường truyền phương tiện

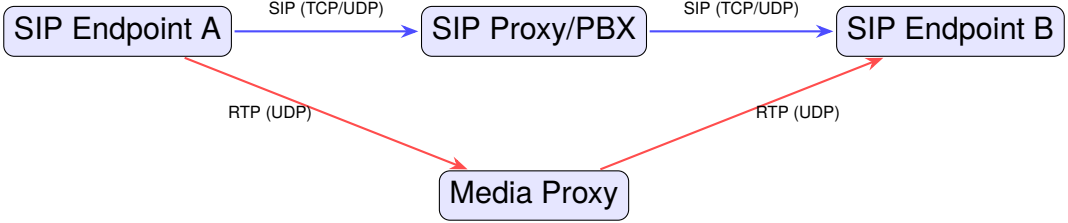
Đường tín hiệu (Signaling Path)

- 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

Lưu ý

Quá trình ICE thực hiện qua SDP trong thông điệp SIP

SIP trong Hệ Thống Cảnh Báo 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

Luồng Phân Phối Cảnh Báo (1/2)

1. Đăng ký

- Thiết bị SIP gửi REGISTER tới Asterisk
- Xác thực qua username/password trong header Authorization

2. Thiết lập phiên

- Ứng dụng Linux ra lệnh `Originate` qua AMI
- Asterisk gửi INVITE → 180 Ringing → 200 OK → ACK
- Sử dụng header `Alert-Info: ;info=alert-autoanswer`

Luồng Phân Phối Cảnh Báo (2/2)

3. Trao đổi dữ liệu

- Dữ liệu cảnh báo truyền qua RTP
- TTS (Text-to-Speech) tạo âm thanh từ văn bản
- Sử dụng codec G.711 hoặc G.729

4. Kết thúc phiên

- Một bên gửi BYE
- Bên kia phản hồi 200 OK

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

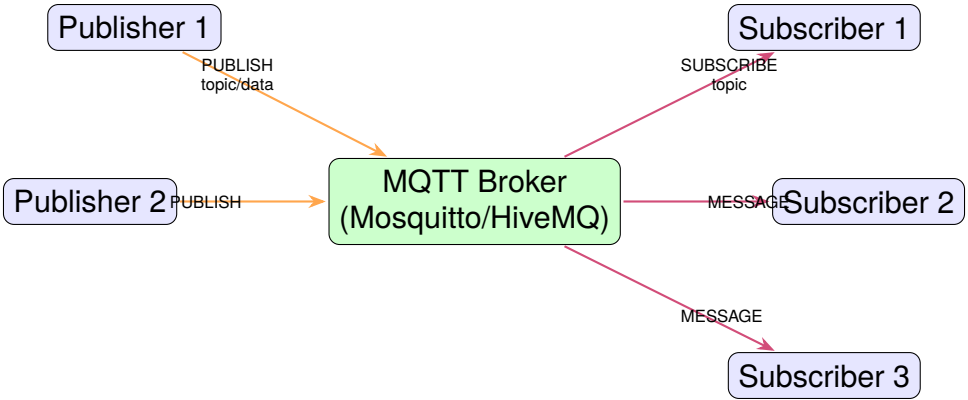
Định nghĩa

- MQTT = 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

- Thiết kế cho thiết bị có tài nguyên hạn chế
- Phù hợp với băng thông thấp
- Hỗ trợ 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 không gian (Space Decoupling)

- Publisher và Subscriber không cần biết địa chỉ IP của nhau
- Giao tiếp thông qua broker trung tâm

Tách rời thời gian (Time Decoupling)

- Không yêu cầu kết nối đồng thời
- Hỗ trợ **retained messages** cho subscriber mới
- Quản lý **clean session** cho trạng thái client

Tách rời đồng bộ (Synchronization Decoupling)

- Truyền và nhận hoạt động độc lập
- Giảm độ trễ và tăng hiệu suất

Quality of Service (QoS)

QoS 0 - At most once

- ”Fire and forget” - không có xác nhận
- Nhanh nhất nhưng có thể mất message
- Phù hợp cho dữ liệu cảm biến thường xuyên

QoS 1 - At least once

- Đảm bảo message được gửi ít nhất một lần
- Có thể trùng lặp message
- Cân bằng giữa độ tin cậy và hiệu suất

QoS 2 - Exactly once

- Đảm bảo message được gửi đúng một lần
- Chậm nhất nhưng tin cậy nhất

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`: Khởi tạo kết nối với broker
- `CONNACK`: Xác nhận kết nối từ broker
- `DISCONNECT`: Ngắt kết nối một cách graceful

Messaging Operations

- `PUBLISH`: Gửi message tới topic
- `PUBACK/PUBREC/PUBREL/PUBCOMP`: QoS acknowledgments
- `SUBSCRIBE`: Đăng ký nhận messages từ topic
- `SUBACK`: Xác nhận subscription
- `UNSUBSCRIBE`: Hủy đăng ký topic

Keep Alive

MQTT trong Hệ thống IoT và Cảnh báo

Ứng dụng trong IoT

- Thu thập dữ liệu từ sensors
- Điều khiển thiết bị từ xa
- Giám sát trạng thái hệ thống
- Gửi thông báo và cảnh báo

Lợi ích cho hệ thống cảnh báo

- Kết nối đáng tin cậy với thiết bị IoT
- Truyền dữ liệu real-time
- Hỗ trợ offline messaging
- Scale tốt với nhiều thiết bị

Giao thức MQTT - Truyền Dữ Liệu Cảm Biến

Đặc điểm:

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

Mức QoS:

- **QoS 0**: Gửi một lần (dữ liệu thường)
- **QoS 1**: Ít nhất một lần (có xác nhận)
- **QoS 2**: Đúng một lần (cảnh báo quan trọng)

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

JSON - JavaScript Object Notation

Định nghĩa

- JSON: JavaScript Object Notation.
- Định dạng dữ liệu nhẹ, dễ đọc, dùng để trao đổi dữ liệu.
- Độc lập với ngôn ngữ, dựa trên cú pháp JavaScript.

Đặc điểm

- Định dạng dễ đọc, dùng cho lưu trữ và truyền dữ liệu.
- Cấu trúc gồm cặp `key:value`, dùng `{}`.
- Chuẩn phổ biến trong ứng dụng IoT.

Tiêu chuẩn

RFC 8259: Chuẩn Internet cho định dạng trao đổi dữ liệu JSON.

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

```json
{
  "device_id": "ESP32_001",
  "temperature": 25.5,
  "sensors": ["temp", "light"]
}
```

Ứng dụng JSON trong IoT

Lưu cấu hình

- Cấu hình thiết bị IoT (Wi-Fi, MQTT).
- Lưu thông số cảm biến và máy chủ.

Trao đổi dữ liệu

- Định dạng payload cho MQTT, API.
- Gửi thông báo cảnh báo trong hệ thống.

Lợi ích

- Tự mô tả, nhẹ hơn XML.
- Tương thích đa nền tảng.

Ví dụ: Cấu hình ESP32

```
{
  "network": {
    "ssid": "IoT_Network",
    "mqtt_broker": "192.168.1.100"
  },
  "device": {
    "id": "ESP32_001",
    "update_interval": 30
  }
}
```

Thư viện JSON cho hệ thống nhúng

ArduinoJson

- Thư viện JSON cho ESP32, Arduino.
- Hỗ trợ serialization, deserialization.
- API đơn giản, tiết kiệm bộ nhớ.

json-c

- Thư viện JSON cho C/C++.
- Hỗ trợ phân tích cú pháp, tạo JSON.

FirebaseJson

- Thư viện dễ dùng, hỗ trợ JSON phức tạp.
- Dựa trên cJSON, phù hợp IoT.

Tối ưu hóa JSON cho IoT

Giảm kích thước Payload

- Rút ngắn tên khóa: `"t"` thay cho `"temperature"`.
- Loại bỏ khoảng trắng, dùng array khi phù hợp.
- Nén dữ liệu với gzip.

Ví dụ JSON tối ưu

- Gốc: `{"temperature":25.5}`
- Tối ưu: `{"t":25.5}`

Thực hành tốt

- Kiểm tra định dạng JSON trước khi gửi.
- Xử lý lỗi parsing, gộp nhiều giá trị.

JSON trong MQTT và SIP

JSON với MQTT

- Payload JSON trong topic `sensor/data`.
- Lưu cấu hình trong retained messages.

JSON với SIP

- Dữ liệu JSON trong custom headers, SIP MESSAGE.
- Lưu cấu hình ứng dụng SIP.

Lưu ý

JSON đảm bảo tương tác giữa các giao thức trong hệ sinh thái IoT.

Ví dụ: ArduinoJson với ESP32

```
#include <ArduinoJson.h>

void createSensorData() {
  DynamicJsonDocument doc(512);
  doc["device_id"] = "ESP32_001";
  doc["temperature"] = 25.5;

  String jsonString;
  serializeJson(doc, jsonString);
  client.publish("sensor/data", jsonString.c_str()); // G?i qua MQTT
}
```

JSON và Tích Hợp Hệ Thống

JSON - Định dạng dữ liệu:

- Nhẹ, dễ đọc, tương thích đa nền tảng
- Cấu hình thiết bị và trao đổi dữ liệu cảm biến
- Tối ưu payload cho MQTT

Luồng tích hợp hoàn chỉnh:

1. ESP32 phát hiện ngã → tạo JSON payload
2. Gửi qua MQTT topic với QoS phù hợp
3. Ứng dụng trung gian nhận và xử lý JSON
4. Kích hoạt cuộc gọi SIP qua Asterisk AMI
5. Phát cảnh báo âm thanh đến điện thoại

Kết Luận và Tối Ưu Hóa

Lợi ích của việc kết hợp 3 giao thức:

- **MQTT**: Thu thập dữ liệu hiệu quả từ cảm biến
- **JSON**: Cấu trúc dữ liệu linh hoạt, dễ xử lý
- **SIP**: Cảnh báo âm thanh tức thì, đáng tin cậy

Các biện pháp tối ưu:

- Payload JSON nhỏ gọn tiết kiệm năng lượng
- QoS MQTT phù hợp với mức độ quan trọng
- Tự động kết nối lại khi mất kết nối
- Bảo mật TLS cho MQTT và SIP

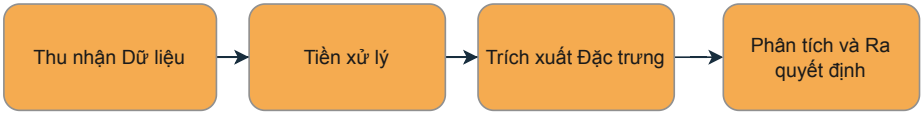
Kết quả

Hệ thống cảnh báo tự động, tin cậy từ thiết bị nhúng đến cuộc gọi VoIP

Tổng quan CV

Định nghĩa & Mục tiêu

CV cho máy tính **hiểu và phân tích hình ảnh/video** → phân loại, phát hiện, theo dõi, ước lượng tư thế. Mục tiêu: **Nhanh, chính xác, quy mô lớn**.



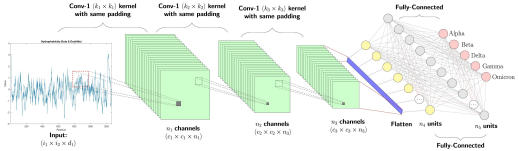
Hình: Pipeline CV: Thu nhận → Tiền xử lý → Trích xuất đặc trưng → Ra quyết định.

Bài toán CV cốt lõi

- Phân loại ảnh
- Phát hiện đối tượng (bounding box)
- Phân đoạn ảnh: ngữ nghĩa / thể hiện
- Ước lượng Tư thế Người (HPE) $\rightarrow$ keypoints

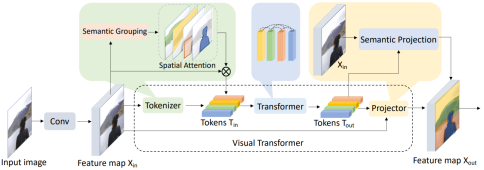
CNN & Vision Transformer

CNN: Tích chập + Pooling → học đặc trưng phân cấp



Hình: CNN Operations

ViT: Chia ảnh thành patches → Self-Attention → quan hệ toàn cục



Hình: Vision Transformer

Tập dữ liệu & Metrics trong CV

Tập dữ liệu chính

- **ImageNet** [**?**]: >14 triệu ảnh, 20,000 nhãn. Chuẩn cho **phân loại ảnh**.
- **COCO** [**?**]: Hơn 330k ảnh, có **bounding box**, **segmentation**, **keypoints**. Chuẩn cho phát hiện đối tượng phân đoạn.
- **MPII Human Pose**: 25k ảnh, 16 keypoints trên cơ thể người. Chuẩn cho HPE.
- **COCO Keypoints**: Mở rộng COCO cho 17 keypoints, hỗ trợ HPE thời gian thực.

Metrics

- IoU – Trùng khớp hộp giới hạn
- mAP – Hiệu suất phát hiện đối tượng
- F1-score – Trung bình điều hòa Precision Recall
- OKS – Độ chính xác keypoints HPE

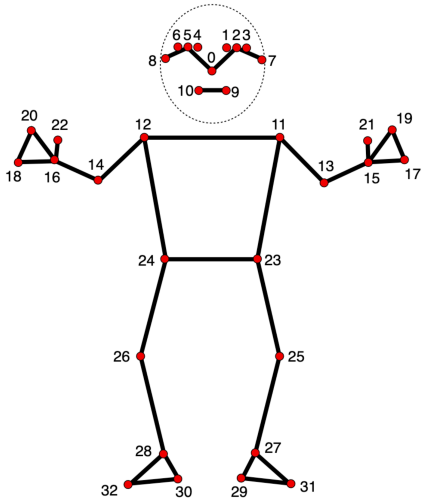
Nhận diện Tư thế Người và Phát hiện Té ngã

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



Keypoints cơ bản trong HPE (Human

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).

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
- $\theta_{\textbf{body}}$**:** Góc vai-hông
- $\Delta h_{\textbf{head}}$**:** 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
- $\theta_{\textbf{body}}$**:** Góc vai-hông
- $\Delta h_{\textbf{head}}$**:** 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 $< M_{th}$

Kiến trúc Hệ thống Phát hiện Té ngã

Phân loại

- Camera-based
- Wearable-based

Thành phần chính

1. Thiết bị thu thập (IMU/Camera)
2. Máy chủ xử lý (Deep Learning)
3. Truyền thông (Wi-Fi, 4G)

Xử lý Cục bộ (Edge)

- **ESP32**: lõi kép, FreeRTOS, xử lý song song.
- **IMU**:
  - Gia tốc kế, Con quay, Từ kế
  - Sensor Fusion (Kalman/Madgwick)
- **Ngưỡng phát hiện té ngã**:

$$\|\mathrm{a}\| > a_{\text{shock}}, \quad \|\mathrm{a}\| \approx 1g$$

- **GPS**: định vị NMEA, hỗ trợ cứu hộ.

Xử lý Máy chủ (Host/Cloud)

Camera Input

ESP32-S3 + OV5640 (5MP)
→ stream JPEG qua Wi-Fi

Máy chủ

- GPU (Jetson Nano, Cloud)
- TensorFlow/PyTorch + OpenCV
- Đồng bộ IMU (MQTT/JSON) + Camera (JPEG)

Hệ thống Truyền thông & Dự phòng

Kênh truyền

- Wi-Fi: kênh chính
- 4G/LTE (EC800K): dự phòng, SMS/cuộc gọi khẩn

Logic vận hành

1. ESP32 phát hiện sơ cấp
2. Truyền dữ liệu: Wi-Fi $\rightarrow$ 4G
3. Server xác minh (IMU + HPE)
4. Kích hoạt cảnh báo

Môi trường Phát triển Phần mềm

ESP-IDF Framework

- Hỗ trợ FreeRTOS (đa nhiệm, lõi kép)
- Low-level Access (I2C/SPI, MQTT/HTTP tối ưu)
- Chuyên nghiệp hơn Arduino IDE

Tổng quan Kiến trúc Hệ thống Phát hiện Té ngã

Phân loại hệ thống

Hệ thống phát hiện té ngã hiện đại được chia thành hai nhóm chính:

- **Hệ thống dựa trên Camera**
- **Hệ thống dựa trên Thiết bị đeo**

Ba thành phần cốt lõi

1. **Thiết bị Thu thập Dữ liệu**: Thu thập dữ liệu chuyển động (IMU) và/hoặc hình ảnh (Camera)
2. **Máy chủ Xử lý**: Thực hiện các thuật toán học sâu và logic ra quyết định phức tạp
3. **Hệ thống Truyền thông**: Đảm bảo luồng dữ liệu hai chiều và kích hoạt cảnh báo

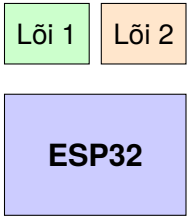
Vi điều khiển ESP32

Tại sao chọn ESP32?

- Kiến trúc **lõi kép Xtensa LX6**
- Xử lý song song hiệu quả
- Tích hợp Wi-Fi, Bluetooth
- Hỗ trợ giao thức MQTT, HTTP

Phân công nhiệm vụ

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



Cảm biến IMU

IMU (Inertial Measurement Unit)

Tích hợp ba loại cảm biến quan trọng:

Gia tốc kế

- Đo gia tốc tuyến tính
- Hiệu chuẩn từ số nguyên sang đơn vị g
- Vector 3D: $\mathrm{a} = [a_x, a_y, a_z]$

Con quay hồi chuyển

- Đo tốc độ góc
- Dựa trên hiệu ứng Coriolis
- Vector 3D: $\omega = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]$

Từ kế

- Tham chiếu hướng từ trường
- Hiệu chỉnh sai số trôi
- Sensor Fusion (Madgwick, Kalman)

Thuật toán Phát hiện Té ngã

Phát hiện dựa trên ngưỡng IMU

Phân tích sự thay đổi đột ngột của gia tốc và tốc độ góc

Shock Event

Gia tốc tổng vượt ngưỡng cao:

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

Với:

$$\|\mathrm{a}\| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Post-fall State

- Gia tốc tổng giảm về gần 1g
- Biểu thị trạng thái nằm ngang
- Tốc độ góc có thay đổi lớn

Cảm biến GPS

Module GPS (u-blox NEO-6M) sử dụng **đo tam giác** từ ít nhất 4 vệ tinh, cung cấp tọa

Hệ thống Camera và Máy chủ

Camera Input

- ESP32-S3 + OV5640 5MP
- Nén JPEG
- Truyền qua Wi-Fi (RTSP/HTTP)
- Xác minh hình ảnh

Luồng dữ liệu

- Luồng JSON/MQTT (IMU)
- Luồng JPEG (Camera)
- Đồng bộ hóa dữ liệu
- Giảm báo động giả

Kiến trúc Máy chủ

Phần cứng:

- AWS, Google Cloud
- NVIDIA Jetson Nano
- GPU cho tính toán Tensor

Phần mềm:

- TensorFlow/PyTorch
- OpenCV
- Thuật toán HPE
- Học sâu

Module Truyền thông

Wi-Fi (ESP32) - Kênh chính

- Truyền tải dữ liệu dung lượng lớn
- Video/hình ảnh
- Giao tiếp MQTT với máy chủ
- Độ trễ thấp

4G/LTE (EC800K) - Dự phòng

- Hoạt động khi Wi-Fi không khả dụng
- Hỗ trợ định vị GPS
- Cuộc gọi khẩn cấp tự động
- SMS cảnh báo qua AT commands

Logic Hoạt động

1. **Thu thập/Xử lý Sơ cấp**
   - ESP32 thu thập dữ liệu IMU/Camera
   - Phát hiện té ngã dựa trên ngưỡng IMU
2. **Quyết định Truyền thông**
   - Nếu phát hiện té ngã → truyền dữ liệu lên máy chủ
   - Ưu tiên Wi-Fi, dự phòng 4G
3. **Xác minh Máy chủ**
   - Phân tích hình ảnh (HPE)
   - Kết hợp dữ liệu IMU
   - Multi-stage Fall Detection Logic
4. **Kích hoạt Cảnh báo**
   - Xác nhận té ngã → ra lệnh cho ESP32
   - Kích hoạt Module EC800K gửi SMS/Cuộc gọi

Tại sao chọn ESP-IDF thay vì Arduino IDE?

Hỗ trợ RTOS

- Tích hợp FreeRTOS
- Tận dụng kiến trúc lõi kép
- Đa nhiệm thực sự
- Tác vụ IMU song song với Wi-Fi

Truy cập Cấp thấp

- Truy cập trực tiếp thanh ghi phần cứng
- Cấu hình chi tiết cảm biến (I2C/SPI)
- Tối ưu hóa giao thức mạng
- Hiệu suất thời gian thực

02$_{r}esults_{d}etection$