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

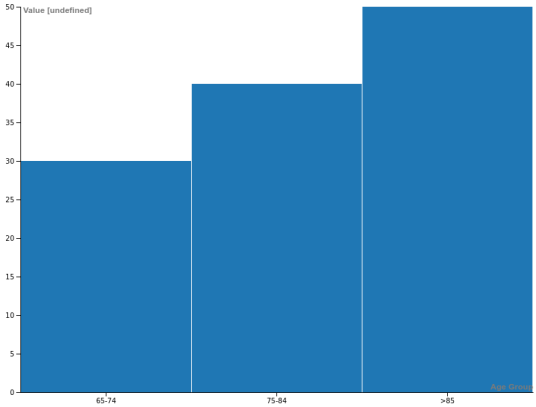
Trần Đức Hảo

Trường Đại học BK.HCM

Ngày 17 tháng 9 năm 2025

Té ngã: Vấn đề chung 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

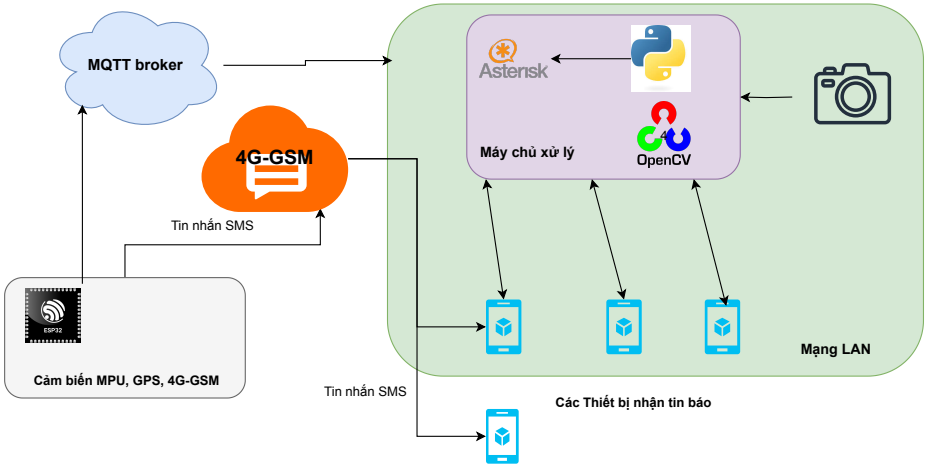
Quốc tế

- **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.

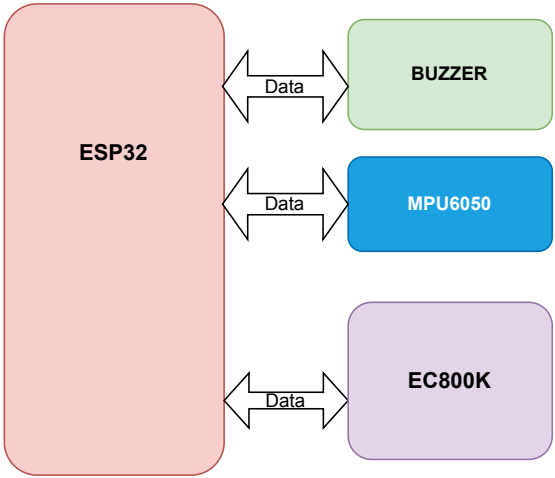
Kiến trúc hệ thống tổng thể



Hình: Sơ đồ hệ thống tổng thể

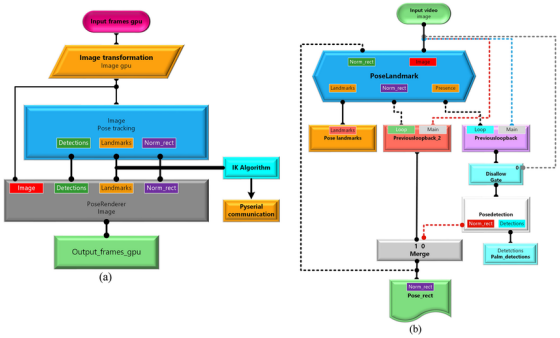
Hệ thống nhúng (ESP32)

- **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.



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.

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 thiết lập 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

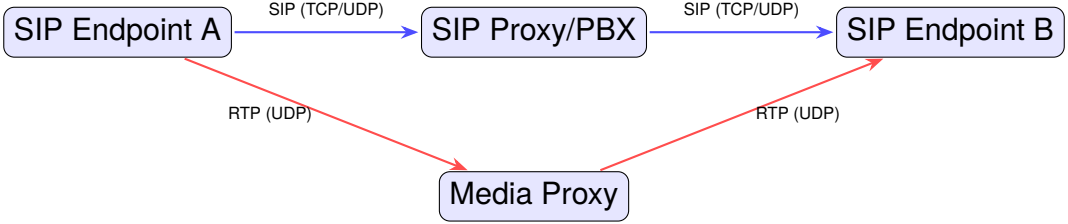
Đường tín hiệu (Signaling Path)

- 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

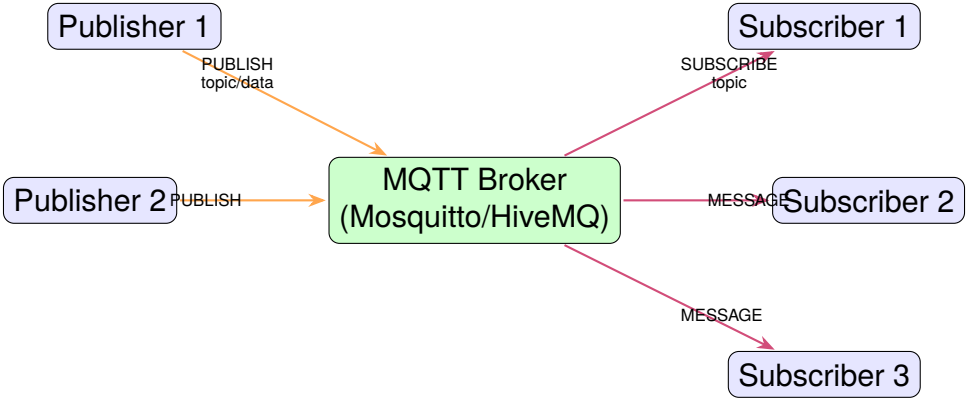
Định nghĩa MQTT

- 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
- 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

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

Tách rời thời gian

- 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

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

Quality of Service (QoS)

QoS 0

- ”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

- 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

- 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 JSON

- 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.

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

```
{
  "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.

Ví dụ: Cấu hình ESP32

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

Một số Thư viện JSON cho hệ thống nhúng

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.

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.

J

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

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 kết hợp các phương thức

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

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

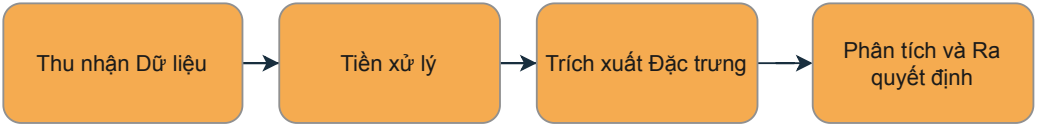
- Tái tạo khả năng nhận thức thị giác với tốc độ, độ chính xác và quy mô vượt trội.
- Ứng dụng trong Hệ thống phát hiện và cảnh báo té ngã thời gian thực tích hợp cảm biến, xử lý ảnh và định vị, đặc biệt là **Ước lượng Tư thế Người (HPE)**.

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



Quy trình tổng thể của hệ thống CV.

Phân loại Bài toán CV

Các bài toán cốt lõi

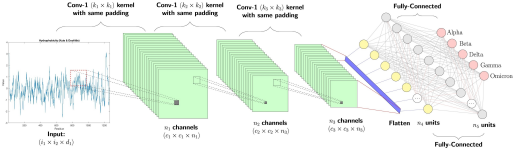
- **Phân loại Ảnh**: Gán nhãn cho toàn bộ ảnh (VD: ”Người”, ”Xe”).
- **Phát hiện Đối tượng**: Xác định vị trí và nhãn bằng hộp giới hạn.
- **Phân đoạn Ảnh**:
  - **Ngữ nghĩa**: Gán nhãn từng pixel (VD: Đường, Cây).
  - **Thể hiện**: Phân biệt các cá thể cùng lớp.
- **Ước lượng Tư thế Người (HPE)**: Xác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

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

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



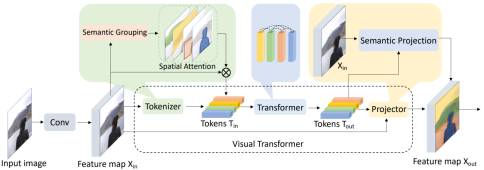
Hình: Phép tích chập và gộp.

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.

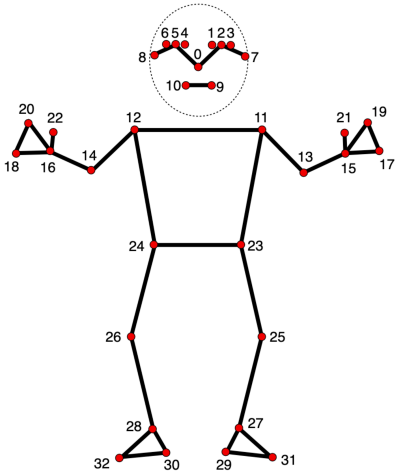
Nhận diện Tư thế Người và Phát hiện Té ngã

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



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 $< M_{th}$

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

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

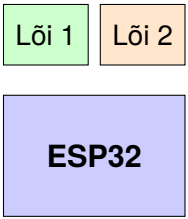
Vi điều khiển ESP32

Đặc điểm chính

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

Phân công nhiệm vụ

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



Cảm biến IMU và GPS

IMU

- Gia tốc kế $\mathrm{a} = [a_x, a_y, a_z]$
- 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

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

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 (Cloud)

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
- Đồng bộ IMU + HPE để giảm báo giả

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

1. ESP32 thu thập dữ liệu IMU/Camera
2. Phát hiện té ngã sơ cấp tại biên
3. Truyền dữ liệu lên máy chủ (ưu tiên Wi-Fi, dự phòng 4G)
4. Máy chủ xác minh bằng HPE + IMU
5. 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

$06_{b}ackground_{s}ummary$

01 *architecture*

02$_h ardware$

$03_{s}oftware_{o}verview$

$04_{m}odule_{a}st$

$05_{m}odule_{i}$

$06_{m}odule_{i}i$

07$_{s}erver$

$08_{m}ethod_{s}ummary$

01$_{s}etup$

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

03 *latency*

04$_{s}tability$

05$_r esults_s ummary$

01 $_{s}ummary$

02 $_{c}ontribution$

03 *limitations*

04 $futurework$

05$_{overall}$

$01_{thankyou}$