

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**PHẠM VĂN THÀNH**

**XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÁT HIỆN VÀ ĐỊNH VỊ LÍNH CỨU  
HỎA GẶP SỰ CỐ KHI LÀM NHIỆM VỤ SỬ DỤNG MỘT SỐ  
KỸ THUẬT HỌC MÁY VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU TIỀN TIẾN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử

Mã số: 9 52 02 03.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**Hà Nội – 2021**

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Trần Đức Tân .....

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại .....

vào hồi            giờ            ngày            tháng            năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

## DANH MỤC CÔNG BỐ

- 1. Pham Van Thanh**, Tuan Khai Nguyen, Duc Anh Nguyen, Nhu Dinh Dang, Huu Tue Huynh, Duc-Tan Tran\*, *Adaptive Step Length Estimation Support Indoor Positioning System using Low-Cost Inertial Measurement Units*, 2020 IEEE Eighth International Conference on Communications and Electronics, pp.271-275, 13-15 Jan.2021.
- 2. Pham Van Thanh**, Le Quang Bon, Nguyen Duc Anh, Dang Nhu Dinh, Huynh Huu Tue, Tran Duc Tan, *Multi-Sensor Data Fusion in A Real-Time Support System for On-Duty Firefighters*, Sensors 2019 (ISSN: 1424-8220 SCIE, IF=3.275).
- 3. Van Thanh Pham**, Duc Anh Nguyen, Nhu Dinh Dang, Hong Hai Pham, Van An Tran, Kumbesan Sandrasegaran and Duc-Tan Tran, *Highly Accurate Step Counting at Various Walking Speeds Using Low-Cost Inertial Measurement Unit Support Indoor Positioning System*, Sensors. 2018; 18(10):3186. (ISSN: 1424-8220 - SCIE, IF=3.275).
- 4. Pham Van Thanh**, Duc-Tan Tran, Dinh-Chinh Nguyen, Nguyen Duc Anh, Dang Nhu Dinh, S. El-Rabaie and Kumbesan Sandrasegaran, *Development of a Real-time, Simple and High-Accurate Fall Detection System for Elderly Using 3-DOF Accelerometers*, Arabian Journal for Science and Engineering. 2018 (ISSN: 2191-4281 – SCIE, IF=1.711).
- 5. Pham Van Thanh**, Anh-Dao Nguyen Thi, Quynh Tran Thi Thuy, Dung Chu Thi Phuong, Viet Ho Mau and Duc-Tan Tran, *A Novel Step Counter Supporting For Indoor Positioning Based On Inertial Measurement Unit*, 7th international conference on Integrated Circuit, Design, and Verification (ICDV), IEEE, pp. 69-74, 5-6 Oct. 2017.
- 6. Nguyen Van Duong, Pham Van Thanh**, Tran Van An, Nguyen Tuan Khai, Duong Thi Thuy Hang, Hoang The Hop and Tran Duc Tan, *Elevator Motion States Recognition Using Barometer Support Indoor*

*Positioning System*, The 7th International Conference in Vietnam on the Development of Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings, Springer, pp.581-587, 27-29 Jun.2018.

7. The Hop Hoang, **Van Thanh Pham**, Thuy Quynh Tran Thi, Huu An Nguyen, Tuan Khai Nguyen and Tan Tran-Duc, *Xây dựng hệ thống xác định độ cao bên trong nhà và công trình sử dụng đa cảm biến áp suất*, Hội nghị Quốc gia lần thứ XXI về Điện tử, Truyền thông và Công nghệ Thông tin (The 21st National Conference on Electronics, Communications and Information Technology), 2018, pp. 193-197.

# LỜI NÓI ĐẦU

## 1. Giới thiệu

Tại Mỹ, năm 2015 đã có 68.085 lính cứu hỏa bị thương và 64 lính cứu hỏa khác thiệt mạng khi thực hiện nhiệm vụ chữa cháy và cứu nạn cứu hộ [1], [2]. Theo thống kê của Hiệp hội phòng cháy quốc gia Hoa Kỳ (NFPA), trong các nguyên nhân gây ra sự cố thương vong, thương vong khi thực hiện công tác chữa cháy trên hiện trường chiếm tỷ lệ lớn nhất với khoảng 29.130 lần (tương đương ~ 43%).

Ở Việt Nam, có hàng nghìn vụ cháy xảy ra mỗi năm. Điển hình trong năm 2014 và 2015 có 2357 và 2792 vụ cháy xảy ra [3,4]. Từ những thông tin trên có thể thấy rằng những người lính cứu hỏa khi thực hiện nhiệm vụ đang phải đối mặt với rất nhiều nguy hiểm khi do thiếu các hệ thống hỗ trợ phù hợp để bảo vệ tính mạng của họ. Vì vậy, việc nghiên cứu đề xuất hệ thống hỗ trợ có độ chính xác cao giúp bảo vệ tính mạng cho lính cứu hỏa khi chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ là rất cần thiết.

Hiện nay đã có một số hệ thống phát hiện sự cố, chẳng hạn như hệ thống phát hiện ngã, hệ thống an toàn cảnh báo cá nhân (PASS) [5]. Tuy nhiên, các hệ thống phát hiện ngã được đề xuất vẫn cho thấy những hạn chế khi áp dụng để phát hiện các sự cố ở lính cứu hỏa khi đang thực hiện nhiệm vụ vì hầu hết tất cả các hệ thống phát hiện ngã trong các công trình nghiên cứu đã công bố chỉ dành cho người già hoặc bệnh nhân, những người mà có các hoạt động di chuyển chậm và đơn giản. Hệ thống PASS được phát triển bởi Bộ An ninh Nội địa Hoa Kỳ để phát hiện lính cứu hỏa mất khả năng di chuyển trong một khoảng thời gian cụ thể. Khi đó, hệ thống sẽ kích hoạt và phát ra tín hiệu cảnh báo bằng âm thanh có cường độ 95-decibel. Tuy nhiên, trong điều kiện đám cháy có nhiều tiếng ồn như tiếng người hò hét khi thoát nạn, tiếng hoạt động của các hệ thống báo cháy và chữa cháy tự động ... Tín hiệu báo động bằng âm thanh từ hệ thống PASS không phát huy hiệu quả trong việc hỗ trợ lực lượng chữa cháy khi thực hiện chữa cháy và cứu nạn cứu hộ trong nhà/công trình có quy mô lớn.

## 2. Mục tiêu của nghiên cứu

Luận án tập trung nghiên cứu và xây dựng thuật toán theo dõi và phát hiện lính cứu hỏa gặp sự cố bên trong nhà/công trình trên cơ sở giải quyết 4 vấn đề như sau:

- + Nghiên cứu tổng quan về học máy và các nguyên nhân dẫn tới sự cố ở lính cứu hỏa khi thực hiện nhiệm vụ.
- + Lựa chọn cảm biến và thiết kế hệ thống, hiệu chỉnh cảm biến, tích hợp cảm biến và xử lý thông tin bản đồ.

+ Xây dựng thuật toán phân loại hoạt động và phát hiện lính cứu hỏa gặp sự cố.

+ Xây dựng thuật toán theo dõi và định vị vị trí lính cứu hỏa trong nhà/công trình.

### **3. Đối tượng và phạm vi của luận án**

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu cụ thể là lính cứu hỏa thực hiện nhiệm vụ chữa cháy và cứu nạn cứu hộ bên trong nhà/công trình. Bên cạnh đó, luận án đề xuất tập trung nghiên cứu hệ thống định vị trong nhà/công trình mà không cần sử dụng hệ thống thiết lập sẵn như các điểm truy cập (access points), bộ chuyển tiếp (transmitters), v.v.

### **4. Nội dung của luận án**

Nghiên cứu các nguyên nhân gây thương vong ở lính cứu hỏa và các nghiên cứu đã công bố về phát hiện ngã, sự cố.

Nghiên cứu các công trình đã công bố có liên quan tới định vị trong nhà.

Nghiên cứu các phương pháp căn chỉnh cảm biến, các giải thuật xử lý tín hiệu thu được từ cảm biến.

Nghiên cứu các công trình đã công bố áp dụng kỹ thuật xử lý tín hiệu, kỹ thuật học máy trong phát hiện ngã.

Nghiên cứu đề xuất giải thuật đếm bước, ước lượng độ dài bước chân, thời điểm dịch chuyển và hướng dịch chuyển.

Đề xuất giải thuật kết hợp dữ liệu thu được từ cảm biến để nâng cao độ chính xác của hệ thống phát hiện sự cố và định vị trong nhà/công trình.

Đánh giá, hiệu chỉnh các thuật toán trên các tập dữ liệu thu thập và tập dữ liệu công khai.

### **5. Phương pháp nghiên cứu**

Luận án kết hợp nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng, thử nghiệm thực nghiệm và tham khảo ý kiến của các chuyên gia.

### **6. Ý nghĩa khoa học và những đóng góp của luận án**

Hầu hết các nghiên cứu đã công bố tập trung vào phân loại hoạt động và phát hiện ngã cho bệnh nhân, người già và trẻ em; và định vị vị trí cho robot bên trong nhà/công trình. Do đó, các công trình công bố này không phù hợp để áp dụng trong việc phát hiện và định vị vị trí lính cứu hỏa bị thương vong khi thực hiện nhiệm vụ bên trong nhà/công trình vì các hoạt động của lính cứu hỏa trên đám cháy khác với con người trong điều kiện bình thường. Bên cạnh đó, việc thu thập dữ liệu hoạt động của lính cứu hỏa phục vụ nghiên cứu trên thế giới không nhiều. Vì vậy, nghiên cứu hoạt động của lính cứu hỏa và đề xuất giải thuật theo dõi và

xác định vị trí của lính cứu hỏa gặp sự cố khi thực hiện công tác chữa cháy và cứu nạn cứu hộ là những đóng góp mới, có ý nghĩa thực tiễn và khoa học cao.

### ***Đóng góp***

Thứ nhất, luận án đã xây dựng thuật toán kết hợp dữ liệu thu được từ cảm biến gia tốc 3 chiều, cảm biến vận tốc góc 3 chiều và cảm biến từ trường 3 chiều để phát hiện lính cứu hỏa bị ngã, ngất. Mặc dù một số công trình nghiên cứu đã đề xuất các giải thuật tích hợp thông tin thu được từ các cảm biến này để phát hiện ngã. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc phát hiện ngã cho người cao tuổi, những người không có khả năng thực hiện các hoạt động phức tạp. Trong khi đó, các hoạt động ở lính cứu hỏa rất phức tạp, đòi hỏi tốc độ nhanh và mạnh nên khi áp dụng các kết quả nghiên cứu từ các công trình trên vào phát hiện ngã ở lính cứu hỏa sẽ làm suy giảm đáng kể độ chính xác của thuật toán. Bên cạnh đó, hầu hết các bộ dữ liệu trong các công trình nghiên cứu đã được công bố được thu từ các tình nguyện viên là sinh viên, người lớn tuổi hoặc các tình nguyện viên khác không phải là lính cứu hỏa. Do đó, các bộ dữ liệu này không thực sự hiệu quả trong việc phát hiện các sự kiện ngã đối với lính cứu hỏa trên đám cháy. (Công trình công bố số 2 và 4).

Thứ hai, luận án đề xuất áp dụng cảm biến áp suất và đề xuất thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển cũng như định vị vị trí của lính cứu hỏa theo chiều dọc do việc sử dụng cảm biến gia tốc 3 chiều, cảm biến vận tốc góc 3 chiều và cảm biến từ trường 3 chiều trong phát hiện mất khả năng di chuyển cũng như định vị vị trí theo chiều dọc không đủ độ tin cậy, sẽ gây ra những cảnh báo sai như trong trường hợp lính cứu hỏa sử dụng thang máy để di chuyển. (Công trình công bố số 2, 6 và 7).

Thứ ba, khí CO hay còn gọi là khí “kẻ giết người thầm lặng”, là một trong những loại khí nguy hiểm nhất phát ra từ quá trình đốt cháy không hoàn toàn. Khí này có thể gây hại nghiêm trọng đến sức khỏe của lính cứu hỏa. Do đó, luận án đề xuất tích hợp cảm biến MQ7 vào hệ thống hỗ trợ kết hợp đề xuất giải thuật cảnh báo mức nồng độ CO nguy hiểm và an toàn để tối ưu hóa việc sử dụng các thiết bị thở (SCBA). (Công trình công bố số 2).

Thứ tư, luận án đề xuất giải thuật hệ số K thích nghi dựa trên từng nhóm chiều cao của lính cứu hỏa để xác định chiều dài bước chân và khoảng cách di chuyển của lính cứu hỏa. (Công trình công bố số 1).

Cuối cùng, luận án đề xuất phát triển thuật toán đếm bước có độ chính xác cao bằng cách đề xuất bốn đặc trưng: Khoảng cách đỉnh tối

thiếu, độ nổi trội của đỉnh, ngưỡng động và loại bỏ rung động. Đặc biệt, độ nổi trội của đỉnh là đặc trưng có hiệu quả cao trong loại bỏ các đỉnh giả. Bên cạnh đó, các đặc trưng đề xuất được kết hợp với các đặc trưng gồm tính tuần hoàn và tính tương tự để loại bỏ các đỉnh giả không phải do quá trình di chuyển tạo nên. (Công trình công bố số 2 và 5).

## **7. Cấu trúc luận án**

Ngoài phần mở đầu và kết luận, luận án được chia thành 5 chương như sau:

**Chương 1:** Tổng quan về Nghiên cứu

**Chương 2:** Thiết kế hệ thống, căn chuẩn cảm biến và xử lý bản đồ

**Chương 3:** Xây dựng thuật toán phát hiện linh cứu hỏa gặp sự cố khi thực hiện nhiệm vụ

**Chương 4:** Xây dựng thuật toán định vị vị trí của linh cứu hỏa khi thực hiện nhiệm vụ trong nhà và công trình

**Chương 5:** Định vị và theo dõi linh cứu hỏa trong nhà bằng cách sử dụng kết hợp dữ liệu đa cảm biến và thuật toán đối sánh bản đồ.

## **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU**

### **1.1. Tổng quan về các nghiên cứu**

### **1.2. Các nghiên cứu về phát hiện sự cố**

Có rất nhiều hướng nghiên cứu đã được công bố về phát hiện ngã trong những năm gần đây như xử lý hình ảnh [88 - 99], cảm biến vị trí [100], điện thoại thông minh [101], gia tốc kế [102] hoặc thiết bị đeo tay và đồng hồ thông minh. Tuy nhiên, các nghiên cứu này có những hạn chế nhất định như hệ thống không tiện lợi, tốn kém và không phù hợp với đối tượng nghiên cứu của luận án là linh cứu hỏa.

### **1.3. Các nghiên cứu về định vị vị trí trong nhà/công trình**

Hệ thống định vị toàn cầu (GPS) không đảm bảo độ tin cậy cho các ứng dụng định vị trong nhà. Do đó, việc nghiên cứu, xây dựng hệ thống định vị trong nhà là cần thiết và đang được các nhà nghiên cứu quan tâm vì được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng thực tế. Do đó, một số hướng nghiên cứu về định vị trong nhà đã được đề xuất. Thứ nhất, định vị trong nhà dựa trên các cảm biến/thiết bị được thiết lập sẵn với độ chính xác cao như camera, mạng cảm biến không dây, mạng không dây, UWB (Ultra-wideband) và radar Doppler [28], nhưng những hạn chế của các kỹ thuật này là chi phí cao và chỉ phù hợp để áp dụng trên các môi trường được thiết lập sẵn các điều kiện như các bộ thu phát tín hiệu,... Các phương pháp khác sử dụng cảm biến gia tốc hoặc IMU (cảm biến đo lường quán tính) được tích hợp với bộ phát sóng vô tuyến để truyền thông tin ra bên ngoài mà không yêu cầu thiết lập trước các hệ



thống hỗ trợ, vì vậy hướng nghiên cứu này phù hợp với các môi trường không biết trước. Tuy nhiên, hướng nghiên cứu này tồn tại nhược điểm là độ chính xác không cao. Do đó, đếm bước chính xác cao là một phần thiết yếu để nâng cao độ chính xác của hệ thống định vị trong nhà trong trường hợp sử dụng IMU.

#### **1.4. Những thách thức trong nghiên cứu về phát hiện sự cố và định vị trong nhà**

Dựa trên các nghiên cứu tổng quan và những hạn chế của các nghiên cứu đã công bố có thể chỉ ra rằng những thách thức lớn nhất đối với việc phát hiện sự cố đó là cần đưa ra được thuật toán có thể phát hiện được các loại sự cố khác nhau khi lính cứu hỏa thực hiện nhiệm vụ với độ chính xác cao đồng thời phân biệt được trạng thái sự cố và các trạng thái khi thực hiện nhiệm vụ như bò, trườn, chạy, phá dỡ.

Thách thức thứ hai đó là xây dựng hệ thống và thuật toán định vị trong nhà dựa trên IMU và các cảm biến hỗ trợ khác mà không sử dụng hệ thống cài đặt sẵn có thể đạt được độ chính xác thấp do sai số trôi và sai số tích lũy của các cảm biến.

#### **1.5. Kết luận**

Trong chương này, luận án đã tập trung phân tích các công trình nghiên cứu liên quan đến các phương pháp phát hiện sự cố và định vị trong nhà đồng thời chỉ ra những hạn chế của các nghiên cứu này. Ngoài ra, luận án cũng nêu ra những mục tiêu và thách thức có thể gặp phải trong quá trình thực hiện luận án.

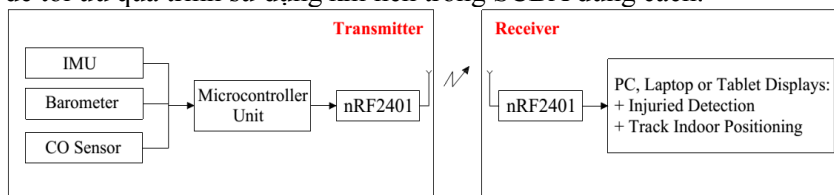
## **CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG, CĂN CHUẨN CẢM BIẾN VÀ XỬ LÝ BẢN ĐỒ**

### **2.1. Kiến Trúc Hệ Thống**

Cảm biến gia tốc 3 chiều sử dụng để thu dữ liệu theo các trục  $A_x$ ,  $A_y$  và  $A_z$ ; giao thức I<sup>2</sup>C để kết nối các cảm biến với vi điều khiển với tốc độ lấy mẫu là 100 Hz vì các hoạt động của lính cứu hỏa diễn ra khá nhanh.

Cảm biến áp suất được sử dụng để thu thập dữ liệu áp suất; sau đó sẽ tính ra độ cao dựa trên dữ liệu áp suất đo được. Các thông số độ cao sẽ cho phép phân biệt giữa mất khả năng di chuyển và các hoạt động khác như di chuyển lên/xuống của thang máy. Đây là một đóng góp mới và là tham số đầu vào quan trọng để nâng cao hiệu suất và độ chính xác của thuật toán đề xuất.

Cảm biến CO được tích hợp trong hệ thống đề xuất để phát hiện mức CO của môi trường trong đám cháy. Khí CO được gọi là “sát thủ thầm lặng”, là một trong những loại khí độc phổ biến và nguy hiểm nhất trong đám cháy trong khi lượng khí nén trong SCBA bị hạn chế, với thời gian sử dụng khoảng 30, 45 hoặc 60 phút [23]. Cảm biến CO được sử dụng để tối ưu quá trình sử dụng khí nén trong SCBA đúng cách.



Hình 2 - 1. Sơ đồ khối của hệ thống đề xuất.

## 2.2. Loại bỏ sai số do cảm biến

Cảm biến đề xuất tồn tại hai loại sai số chính, bao gồm sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên. Luận án áp dụng lần lượt quá trình căn chuẩn và bộ lọc Kalman để loại bỏ sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên.

### 2.2.1. Gia tốc kế 3-DOF

### 2.2.2. Cảm biến từ tính

### 2.2.3. Cảm biến áp suất

### 2.2.4. Cảm biến khí CO

## 2.3. Xử lý bản đồ

### 2.3.1. Tiền xử lý bản đồ

Bản đồ sẽ được chuyển đổi từ ảnh màu hoặc ảnh xám sang ảnh nhị phân dựa trên ngưỡng. Dựa trên kết quả thực nghiệm, luận án đề xuất ngưỡng bằng 0,5412. Nếu pixel nào của ảnh màu hoặc ảnh xám lớn hơn ngưỡng được đề xuất, thì pixel đó sẽ được gán 1 trong hình ảnh nhị phân và 0 khi nhỏ hơn giá trị ngưỡng được đề xuất.

### 2.3.2. Đơn giản hóa bản đồ

Luận án đã đề xuất thuật toán để loại bỏ các đối tượng không mong muốn, chỉ giữ lại các đối tượng quan trọng và cố định như tường và cầu thang để làm giá trị tham chiếu đối sánh giữa vị trí ước lượng được và các đối tượng được giữ lại trên bản đồ. Để giải quyết vấn đề này, luận án đã sử dụng hai phép toán cơ bản là Dilation và Erosion.

### 2.3.3. Tỷ lệ bản đồ

Tỷ lệ bản đồ là tỷ lệ giữa khoảng cách trên bản đồ và khoảng cách thực tế. Trong nghiên cứu này, tỷ lệ bản đồ là mối quan hệ giữa pixel ảnh và kích thước thực (cm) của tòa nhà hoặc công trình xây dựng.

## 2.4. Kết luận

Trong chương này, luận án đã đề xuất thuật toán hiệu chỉnh các loại cảm biến bao gồm cảm biến gia tốc 3 chiều, cảm biến vận tốc góc 3 chiều, cảm biến áp suất và cảm biến MQ7. Dựa trên kết quả đạt được sau quá trình căn chuẩn có thể thấy rằng các phần bất thường của tín hiệu đã được loại bỏ. Bên cạnh đó, trong chương này, luận án đã đề xuất thuật toán xử lý bản đồ để loại bỏ các đối tượng không quan trọng đồng thời giữ nguyên các cấu trúc chính như tường, cầu thang, thang máy,... cũng như ước tính tỷ lệ bản đồ.

## CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN PHÁT HIỆN LÍNH CỨU HỎA GẶP SỰ CỐ KHI THỰC HIỆN NHIỆM VỤ

### 3.1. Thuật toán phát hiện ngã

#### 3.1.1. Mô-đun phát hiện ngã

Dữ liệu được ghi theo ba trục  $A_x$ ,  $A_y$  và  $A_z$ , sau đó giá trị Root Mean Square (RMS) của tín hiệu được ghi (Acc) được tính bằng công thức (3-1):

$$\text{Acc} = \sqrt{(A_x)^2 + (A_y)^2 + (A_z)^2} \quad (3-1)$$

Các giá trị của Acc sẽ được so sánh với LFT (Ngưỡng thấp hơn) và UFT (Ngưỡng cao hơn) để phát hiện ngã. Nếu giá trị của Acc nằm dưới LFT và trên UFT với giá trị  $t_{FE}$  lớn hơn ngưỡng đề xuất sẽ được xác nhận có sự cố ngã xảy ra.

$$t_{FE} = \frac{\text{count}}{\text{frequency sampling}} \quad (3-2)$$

#### 3.1.2. Mô-đun nhận dạng sau ngã

Mô-đun nhận dạng sau ngã là sự kết hợp giữa mô-đun nhận dạng tư thế và ước tính vận tốc theo chiều dọc sau khi mô-đun phát hiện ngã phát hiện sự kiện ngã được 2 giây. Lý do lựa chọn 2s vì sau khi ngã, cơ thể sẽ chuyển sang trạng thái tĩnh và độ trễ 2s được sử dụng để hạn chế mọi dao động sau khi cơ thể chạm đất.

#### 3.1.3. Mô-đun nhận dạng tư thế

Nhận dạng tư thế sau khi ngã được sử dụng để xác định góc  $\theta$  giữa trục Ay và vector gia tốc trọng trường. Cảm biến gia tốc 3 chiều được đặt ở thắt lưng; trục Ay sẽ song song với gia tốc trọng trường khi người mang thiết bị ở trạng thái đứng yên. Do đó, giá trị của góc  $\theta$  khi người ở trạng thái đứng là khoảng  $0^\circ$ , giá trị của góc  $\theta$  sẽ thay đổi khi người đeo ở trạng thái đi bộ hoặc các trạng thái hoạt động khác. Giá trị của góc  $\theta$  được xác định như công thức dưới đây [89]:

$$\theta(t) = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{A}_{cc}(t) \cdot \vec{A}_0}{|\vec{A}_{cc}(t)| \cdot |\vec{A}_0|} \right) \frac{180}{\pi} \text{ (degree)} \quad (3-3)$$

### 3.1.4. Ước tính vận tốc theo chiều dọc

Ước lượng vận tốc là chìa khóa để phân biệt giữa trạng thái nghỉ và trạng thái hoạt động; nếu loại bỏ trọng lực, vận tốc theo chiều dọc ở các trạng thái nghỉ sẽ xấp xỉ bằng 0 theo công thức sau:

$$v = \int \left( \sqrt{A_x^2(t) + A_y^2(t) + A_z^2(t)} - 9.81 \right) dt \quad (3-4)$$

trong đó,  $a = \frac{m}{F_S}$ ,  $b = \frac{m+1}{F_S}$  với  $m = 0$ : *number of data samples*

$$V < v_{threshold} \quad (3-5)$$

$v_{threshold}$  là ngưỡng để phân biệt giữa trạng thái nghỉ và trạng thái hoạt động. Khi phương trình 3-5 thỏa mãn, thuật toán sẽ xác nhận người đang đeo thiết bị đang ở trạng thái nghỉ, những những trường hợp còn lại là trạng thái đang hoạt động.

## 3.2. Phát hiện lính cứu hỏa gặp sự cố khi làm nhiệm vụ

Bên cạnh ba đặc trưng cơ bản: Upper threshold, post-fall và posture recognition được đề xuất để phát hiện ngã. Hai đặc trưng cơ bản khác được sử dụng để phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý bao gồm: Ngưỡng độ cao và ngưỡng mất khả năng di chuyển vật lý. Thuật toán sẽ xác nhận việc mất khả năng di chuyển vật lý khi  $L_{u\_mov} > (Acc_j; Acc_{j+4*F_S}) > L_{l\_mov}$ .

### 3.2.1. Thuật toán phát hiện ngã cho lính cứu hỏa

Thuật toán kết hợp việc sử dụng bốn loại cảm biến: cảm biến gia tốc 3 chiều, cảm biến vận tốc góc 3 chiều và cảm biến từ trường 3 chiều và cảm biến áp suất. Sự khác biệt giữa thuật toán phát hiện ngã trong luận án và các công trình công bố khác là đối tượng nghiên cứu. Hầu hết các

công trình công bố trước đây tập trung vào việc phát hiện ngã ở người già, trẻ em hoặc bệnh nhân với các hoạt động ít phức tạp và di chuyển chậm hơn so với lính cứu hỏa. Bên cạnh đó, các công trình công bố này chưa đề cập đến một số hoạt động và tình huống đặc trưng của lính cứu hỏa như bò, trườn, bò rời ngã. Do đó, cảm biến áp suất đã được tích hợp trong hệ thống này giúp tăng cường độ chính xác và hiệu suất của hệ thống đề xuất. Bốn cảm biến sẽ thu dữ liệu đồng thời với cùng tần số. Để phát hiện các sự kiện ngã đối với lính cứu hỏa, luận án đã đề xuất ba đặc trưng như sau:

+ **Upper Threshold.** Ở trạng thái ngã, sau khi tình nguyện viên mất cân bằng với mặt đất, cơ thể sẽ chuyển sang trạng thái “rơi tự do”. Do tác động của lực hấp dẫn, khi cơ thể ban đầu tiếp xúc với mặt đất hoặc các vật thể khác sẽ tạo ra sự thay đổi đột ngột trong dữ liệu gia tốc. Do đó, sử dụng đặc trưng **Upper Threshold** để phát hiện sự gia tăng đột ngột của dữ liệu gia tốc có ý nghĩa vô cùng quan trọng.

$$Acc_{(j)} - U_{th} > 0 \quad (3-6)$$

trong đó,  $Acc_{(j)}$  là dữ liệu gia tốc tại mẫu  $j$ ;  $U_{th}$  là ngưỡng để kiểm tra dữ liệu gia tốc thu được vượt quá ngưỡng quy định hay không.

+ **Post-Fall.** Sau quá trình “rơi tự do”, cơ thể sẽ dao động trong một thời gian ngắn trước khi chuyển sang trạng thái nghỉ. Ở trạng thái nghỉ, giá trị RMS của gia tốc theo ba trục là khoảng 1 g. Post-Fall bao gồm ngưỡng trên và dưới. Dựa trên các kết quả thử nghiệm, trạng thái nghỉ sẽ được kiểm tra sau khi tín hiệu vượt quá giá trị Upper Threshold trong 3 giây; giá trị của ngưỡng trên và dưới trong module Post-Fall bằng 1,25 g và 0,75 g. Khi gia tốc RMS lớn hơn và nhỏ hơn ngưỡng  $L_{pt}$  và  $U_{pt}$  trong vòng 2 giây, thuật toán sẽ xác nhận sự kiện ngã đã xảy ra.

$$Pos_{fall} = (U_{pt} > (Acc_{j+3*FS} : Acc_{j+5*FS}) \quad (3-7)$$

$$\&\&L_{pt} < (Acc_{j+3*FS} : Acc_{j+5*FS}))$$

trong đó,  $U_{pt}$  là ngưỡng trên để kiểm tra điều kiện post-fall,  $L_{pt}$  là ngưỡng dưới để kiểm tra điều kiện post-fall.

+ **Posture Recognition.** Sau khi ngã, tư thế của cơ thể sẽ thay đổi. Do đó, các góc roll, pitch, yaw sẽ thay đổi so với hệ quy chiếu tham chiếu. Trong luận án này, hệ quy chiếu tham chiếu là hệ quy chiếu Trái đất. Sự thay đổi của tư thế tương ứng với sự thay đổi các góc roll, pitch, yaw so với hệ quy chiếu tham chiếu. Các góc roll và pitch được sử dụng

để xác định tư thế của lính cứu hỏa sau khi ngã. Dựa trên những điều này, ngưỡng nhận dạng tư thế được đề xuất để phân biệt giữa các hoạt động khi làm nhiệm vụ và các sự kiện ngã. Hơn nữa, góc theta (T) sẽ thay đổi khi sự kiện ngã xảy ra. Do đó, việc sử dụng góc theta, góc roll và pitch trong thuật toán phát hiện ngã có ý nghĩa quan trọng trong thuật toán đề xuất.

**Điều kiện 1:** Góc T giữa trục Az và gia tốc trọng trường:

Cảm biến gia tốc được đặt trong túi quần trước như Hình 10a. Do đó, góc T khi lính cứu hỏa ở trạng thái đứng yên vào khoảng  $0^\circ$ . Phương trình (3-8) được sử dụng để xác định sự khác biệt giữa góc T và gia tốc trọng trường.

$$T = \cos^{-1} \left( \frac{A_z(t)}{\sqrt{A_x^2(t) + A_y^2(t) + A_z^2(t)}} \right) \frac{180}{\pi} \text{ (degree)} \quad (3-8)$$

Góc T được sử dụng để kiểm tra tư thế của lính cứu hỏa nhằm xác nhận sự cố ngã và loại bỏ các sự kiện ngã giả.

**Điều kiện 2:** Xác định hướng

Trong trường hợp này, luận án sẽ áp dụng bộ lọc hướng Madgwick trong việc loại bỏ nhiễu cho cảm biến đo lường quán tính (IMU). Các góc Euler biểu thị cho sự khác biệt giữa hệ quy chiếu tham chiếu và hệ quy chiếu cảm biến được xác định bởi các phương trình sau [67]:

$$Y = \text{Atan2}(2q_2q_3 - 2q_1q_4, 2q_1^2 + 2q_2^2 - 1) \quad (3-9)$$

$$P = -\sin^{-1}(2q_2q_4 + 2q_1q_3) \quad (3-10)$$

$$R = \text{Atan2}(2q_3q_4 - 2q_1q_2, 2q_1^2 + 2q_4^2 - 1) \quad (3-11)$$

trong đó, Y, P và R lần lượt là các góc yaw, pitch, roll của góc Euler xoay quanh trục Az, Ay và Ax của hệ quy chiếu tham chiếu.

**Kết hợp Điều kiện 1 và Điều kiện 2:**

Trong thuật toán phát hiện ngã được đề xuất, góc theta, góc pitch và góc roll được kết hợp để tăng cường độ nhạy và độ chính xác đối với thuật toán đề xuất. Bên cạnh đó, việc kiểm tra 2 lần với khoảng thời gian 0,5 giây giữa 2 lần được đề xuất trong luận án để cải thiện tính chính xác của hệ thống đề xuất.

### 3.2.2. Đề xuất thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý cho lính cứu hỏa

Có một số loại sự kiện ngã như bò sau đó ngã hoặc bị mắc kẹt trên đường di chuyển, không gian hẹp. Việc áp dụng các thuật toán phát hiện gia tốc vượt ngưỡng không được áp dụng cho các tình huống này do sự thay đổi đột ngột về giá trị gia tốc có thể không đủ lớn để phát hiện ra lính cứu hỏa gặp sự cố, trong khi việc chọn giá trị ngưỡng thấp hơn để làm tăng độ nhạy của thuật toán đề xuất nhưng độ chính xác sẽ giảm đáng kể và ngược lại.

Để giải quyết những hạn chế này, luận án đã đề xuất thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý. Thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý là một phần quan trọng trong thuật toán đề xuất để phát hiện các sự kiện tai nạn của lính cứu hỏa đối với các tình huống như đề cập bên trên.

$$L_{\text{loss of physical performance}} =$$

$$(L_{u_{mov}} > (Acc_j: Acc_{j+4*Fs})) \&\& L_{l_{mov}} < (Acc_j: Acc_{j+4*Fs})) \quad (3-12)$$

$$\Delta_{\text{Altitude}} = H_{(j+4*Fs)} - H_{(j)} \quad (3-13)$$

Dựa trên kết quả dự đoán bằng cách hợp nhất dữ liệu của cả cảm biến áp suất và cảm biến gia tốc 3-DOF, sự mất khả năng di chuyển vật lý sẽ được xác nhận khi phương trình (3-17) được thỏa mãn.

$$\text{Predict}(l) = \quad (3-14)$$

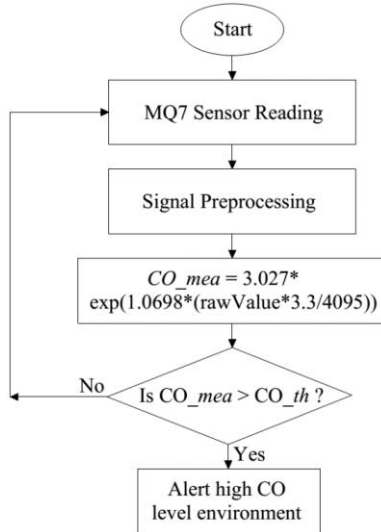
$$Acc < L_m \text{ within } T \& \Delta_{\text{Altitude}} > A_{th} \Rightarrow l = \text{moving up} \quad (3-15)$$

$$Acc < L_m \text{ within } T \& \Delta_{\text{Altitude}} < A_{th} \Rightarrow l = \text{moving down} \quad (3-16)$$

$$Acc < L_m \text{ within } T \& A_{th1} < \Delta_{\text{Altitude}} < A_{th2} \Rightarrow l = \text{loss\_of\_physical\_performance} \quad (3-17)$$

### 3.2.3. Thuật toán phát hiện CO cho lính cứu hỏa

Sau khi được ghi lại, bộ lọc Kalman đơn giản được sử dụng để xử lý dữ liệu thô nhằm loại bỏ các phần bất thường trong tín hiệu sau đó sẽ sử dụng ngưỡng để phát hiện nồng độ CO vượt ngưỡng quy định như trong Hình 3-10.



Hình 3-10. Thuật toán cảnh báo mức CO cao.

### 3.3. Kết quả và thảo luận

#### 3.3.1. Kết quả thử nghiệm

Các tình nguyện viên được chọn ngẫu nhiên từ nhiều lính cứu hỏa trong Đại học Phòng cháy chữa cháy. Các tình nguyện viên đã thực hiện thí nghiệm để ghi lại dữ liệu ba lần. Các chi tiết về thông tin tình nguyện được mô tả trong Bảng 3-3.

Bảng 3-3. Các đặc điểm tình nguyện.

Số lượng tình nguyện viên	Số lần thực hiện	Giới tính	Tuổi	Chiều cao	Cân nặng
5	3	Nam	18–35	1.68–1.75	62–75 kg

#### 3.3.2. Kết quả phát hiện ngã

#### 3.3.3. Phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý

Hình 3-13 dưới đây đây minh họa sự khác biệt giữa mất khả năng di chuyển do bị mắc kẹt hoặc đối mặt với tai nạn và di chuyển bằng thang máy. Như trong Hình 3-13, cả hai bộ dữ liệu được ghi lại từ cảm biến gia tốc và cảm biến áp suất đều không đổi hoặc ít thay đổi khi lính cứu



hỏa đi qua một con đường hẹp và bị kẹt hoặc gặp tai nạn. Tương tự, Hình 3-14 cho thấy khi lính cứu hỏa di chuyển lên trên bằng thang máy, dữ liệu áp suất (được quy ra độ cao) đã thay đổi.

### 3.3.4. Thuật toán cảnh báo mức CO cao

Trong các thử nghiệm thực nghiệm đo nồng độ khí CO cho thấy rằng: Trong không khí sạch (không có cháy), nồng độ khí CO dao động trong khoảng 7 ppm, nhưng giá trị này đã thay đổi nhanh chóng khi tình nguyện viên di chuyển cảm biến MQ7 đến gần đám cháy và giá trị thay đổi từ 33 đến 45 ppm. Bên cạnh dựa trên thử nghiệm thực nghiệm tại Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy (Việt Nam) và so sánh với các dấu hiệu / triệu chứng được liệt kê trong [63] có thể xác nhận rằng khi nồng độ carbon monoxide khoảng 35 ppm (triệu chứng đau đầu và chóng mặt xảy ra trong vòng 6 đến 8 giờ khi tiếp xúc liên tục) là mức nồng độ có thể gây nguy hiểm tới tính mạng đối với lính cứu hỏa. Do đó, luận án đề xuất sử dụng ngưỡng  $th5 = 33$  ppm để làm ngưỡng cảnh báo. Nếu mức CO trong đám cháy thấp hơn ngưỡng 33ppm, lính cứu hỏa có thể cân nhắc để tháo thiết bị thở nhằm tiết kiệm khí nén trong SCBA để dùng trong những tình huống nguy hiểm hơn có thể gặp ở phía trước.

### 3.4. So sánh

Các thuật toán được sử dụng trong so sánh bao gồm:

- Thuật toán 1: Thuật toán đầy đủ với các đặc trưng được trình bày trong Bảng. 6.
- Thuật toán 2: Phiên bản rút gọn của thuật toán 1 (không kiểm tra góc theta, góc pitch và góc roll ở giai đoạn hai).
- Thuật toán 3: Phiên bản rút gọn của thuật toán 2 (không có điều kiện 1).
- Thuật toán 4: Phiên bản rút gọn của thuật toán 2 (không có điều kiện 2).
- Thuật toán phát hiện ngã đã công bố trong công trình trước của nghiên cứu sinh và cộng sự.
- Thuật toán phát hiện ngã đề xuất bởi Paola Pierleoni et al..

#### 3.4.1. So sánh trên tập dữ liệu thu thập

Bảng 3-5. Chi tiết về dữ liệu thu thập được

Thông số	Tập dữ liệu thử nghiệm
Các loại ngã	Ngã sống soài (Forward fall), ngã ngửa (Backward fall), ngã nằm nghiêng trái

	(Lateral left fall), ngã nằm nghiêng phải (Lateral right fall)
Các hoạt động di chuyển	Đi bộ trên sàn phẳng, chạy bộ trên trần phẳng, bò trên sàn phẳng, đi bộ lên cầu thang, đi bộ xuống cầu thang, chạy bộ lên cầu thang, chạy bộ xuống cầu thang, bò lên cầu thang, bò xuống cầu thang, nhảy, di chuyển lên/xuống bằng thang máy.
Vị trí.	Túi quần trước
Tần số.	100 Hz
Số tình nguyện viên	6

Phương trình (3-18) - (3-20) được sử dụng để đánh giá độ chính xác, độ đặc hiệu và độ nhạy của thuật toán đề xuất, thuật toán trong công trình công bố trước đây của nghiên cứu sinh và cộng sự và thuật toán trong công trình công bố của Paola Pierleoni và cộng sự.

Bảng 3-6. Kết quả thử nghiệm thuật toán được đề xuất, thuật toán trong công trình công bố trước đây của nghiên cứu sinh và cộng sự và thuật toán trong công trình công bố của Paola Pierleoni và cộng sự.

<b>So sánh các thuật toán</b>	<b>Sen</b>	<b>Spec</b>	<b>Acc</b>
Thuật toán 1	100%	100%	100%
Thuật toán 2	100%	94,44%	95,83%
Thuật toán 3	100%	90,74%	93,05%
Thuật toán 4	100%	91,67%	93,75%
Thuật toán phát hiện ngã [18]	88,9%	94,45%	91,67%
Thuật toán đề xuất bởi Paola Pierleoni et al. [17]	66,7%	100%	83,33%

### 3.4.2. So sánh trên tập dữ liệu công khai

Dựa trên kết quả thu được trong Bảng 3-8, có thể thấy rằng thuật toán đề xuất trong luận án (Thuật toán 1) đạt được kết quả tốt hơn trên các tập dữ liệu công khai. Thuật toán này có thể phát hiện đúng 762/762 hành động bình thường và 724/755 hoạt động ngã, tương ứng với 100% và 97,96%.

Bảng 3-8. Kết quả thử nghiệm các thuật toán đề xuất (phát hiện ngã và phát hiện mất hiệu suất vật lý)

<b>So sánh các thuật toán</b>	<b>Sen</b>	<b>Spec</b>	<b>Acc</b>
-------------------------------	------------	-------------	------------

Thuật toán 1	95,89%	100%	97,96%
Thuật toán 2	96,15%	98,42%	97,3%
Thuật toán 3	97,75%	94,48%	96,11%
Thuật toán 4	96,68%	93,43%	95,05%
Thuật toán phát hiện ngã đề xuất trong luận án [18]	93,33%	91,67%	92,5%
Thuật toán đề xuất bởi Paola Pierleoni et al. [17]	36,95%	97,76%	67,5%

### 3.5. Kết luận

Trong chương này, thuật toán phát hiện ngã và thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý đã được đề xuất và tích hợp trong hệ thống hỗ trợ lính cứu hỏa khi thực hiện nhiệm vụ trên đám cháy bên trong nhà/công trình. Thuật toán đã hợp nhất dữ liệu của cảm biến gia tốc 3-DoF, cảm biến vận tốc góc 3-DoF, cảm biến từ trường 3-DoF và cảm biến áp suất. Đây là lần đầu tiên thuật toán phát hiện mất khả năng di chuyển vật lý được đề xuất để nâng cao độ chính xác của hệ thống hỗ trợ cho đối tượng cụ thể là lính cứu hỏa. Bên cạnh đó, chương 3 đã đề xuất sử dụng giá trị ngưỡng phù hợp để phát hiện và cảnh báo nồng độ khí CO ở mức nguy hiểm trong đám cháy nhằm bảo vệ tính mạng của lính cứu hỏa. Sự kết hợp của 5 loại cảm biến và thuật toán kết hợp dữ liệu từ cảm biến đã đạt được kết quả đáng ghi nhận đối với đối tượng nghiên cứu mới là lính cứu hỏa với độ nhạy cao, độ đặc hiệu 100% và độ chính xác 100% trên bộ dữ liệu thử nghiệm và độ chính xác 97,96% trong bộ dữ liệu công khai. Nghiên cứu cũng chỉ ra một số loại hoạt động chính của lính cứu hỏa trong điều kiện cháy và đề xuất thuật toán, giá trị ngưỡng phù hợp thông qua việc sử dụng dữ liệu thu được từ 5 loại cảm biến. Trong tương lai, hệ thống đề xuất sẽ được tích hợp nhiều cảm biến để phát hiện và cảnh báo mức nồng độ nguy hiểm của các khí độc như aldehyd, hạt mịn, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S và HCN để đưa ra quyết định chính xác hơn về việc có nên sử dụng SCBA hay không.

## CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐỊNH VỊ VỊ TRÍ CỦA LÍNH CỨU HỎA KHI THỰC HIỆN NHIỆM VỤ TRONG NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH

Chương 4 của luận án sẽ trình bày chi tiết về thuật toán tìm đường và định vị vị trí trong nhà đối với lính cứu hỏa đang thực hiện nhiệm vụ thông qua quá trình tích hợp thông tin thu được từ các cảm biến. Dưới

đây là 4 bước chính trong xây dựng thuật toán theo dõi và xác định vị trí:

- + *Phát hiện và đếm bước.*
- + *Ước lượng độ dài bước chân.*
- + *Ước lượng thời điểm chuyển hướng và hướng quay.*
- + *Ước lượng vị trí theo chiều dọc.*

#### **4.1. Thuật toán đếm bước**

Thuật toán đếm bước được xây dựng dựa trên bốn đặc trưng: Khoảng cách đỉnh tối thiểu, độ nổi trội của đỉnh, ngưỡng động và loại bỏ rung động để phát hiện các đỉnh đối với dữ liệu thu được từ các cảm biến giá rẻ 3-DOF. Bên cạnh đó, 2 đặc trưng là tính tuần hoàn và tính tương tự được sử dụng để giải quyết vấn đề đi bộ sai đồng thời nâng cao hiệu suất của thuật toán đề xuất.

##### *4.1.1. Kết quả thử nghiệm*

###### *4.1.1.1. Kịch bản thử nghiệm*

Dữ liệu được thu thập từ 8 tình nguyện viên nam với độ tuổi: 18 đến 28, chiều cao: 1,65 m đến 1,78 m và cân nặng: 58 kg đến 76 kg được chọn từ Đại học phòng cháy chữa cháy (UFPF). Các tình nguyện viên mang theo thiết bị và bỏ trong túi quần để thu 5 mẫu dữ liệu bao gồm: đi bộ bình thường, đi bộ nhanh, đi bộ chậm, đi bộ tự do và tạo ra các dao động không phải do đi bộ. Mỗi mẫu dữ liệu được thu ba lần trong quá trình thử nghiệm. Sau đó, hai tình nguyện viên khác mang theo thiết bị đề xuất và ba điện thoại được cài đặt ba ứng dụng phổ biến: Ứng dụng sức khỏe trên iPhone 5s, S-Health trên Galaxy S5 và Pedometer & Weight Loss Coach được cài đặt trên Lenovo P780 trong túi quần và thực hiện 500 bước đi bộ ở trạng thái tự do trong 5 lần với cùng điều kiện. Kịch bản đi bộ tự do bao gồm đi trên hành lang sân nhà và lên, xuống cầu thang. Hình 9 dưới đây là hệ thống định vị trong nhà đề xuất và một lính cứu hỏa đang thu dữ liệu ở trạng thái đi bộ tự do.

###### *4.1.1.2. Kết quả thu được*

Thuật toán đề xuất đã được thử nghiệm với nhiều trạng thái đi bộ bao gồm đi bộ với tốc độ bình thường, đi bộ với tốc độ nhanh, đi bộ với tốc độ chậm và các dao động tạo ra bởi con người nhưng không phải do đi bộ. Kết quả cho thấy thuật toán đề xuất đã phát hiện số bước chân với độ chính xác rất cao: 227/227 bước đối với trạng thái đi bộ bình thường, 500/500 bước khi đi bộ với tốc độ chậm và không liên tục, 187/188 bước đi bộ với tốc độ nhanh và 500/500 bước khi đi bộ tự do.

#### 4.1.2. Thảo luận

##### 4.1.2.1. So sánh với các phương pháp khác

Để đánh giá hiệu suất của thuật toán đếm bước đề xuất, luận án đã sử dụng công thức dưới đây để ước tính lỗi của thuật toán đề xuất [32]:

$$\text{Error} = \frac{|E-T|}{T} \times 100\%, \quad (4-9)$$

Trong đó, E là số bước ước lượng được bởi thuật toán đề xuất, T là số bước thực tế.

Các kết quả trong Bảng 4-7 cho thấy thuật toán đề xuất có hiệu quả cao hơn nhiều so với 2 phương pháp còn lại.

Bảng 4-7. Sai số trung bình của thuật toán đề xuất và hai phương pháp được trình bày trong Tài liệu tham khảo [32].

Các trạng thái	Thuật toán đề xuất	Thuật toán dựa trên tính tuần hoàn, tính tương tự, tính liên tục [ 32 ]	Thuật toán dựa trên phát hiện đỉnh [ 32 ]
Đi bộ tự do	0,58%	11,18%	37,35%
Đi bộ nhanh	1,06%	4,26%	26,73%
Đi bộ chậm	2,42%	14,92%	96,77%
False walking	3,53%	15,90%	52,70%

##### 4.1.2.2. So sánh với các ứng dụng thương mại khác

Từ kết quả thể hiện trong Bảng 4-8, có thể thấy rằng phần mềm Pedometer & Weight Loss Coach được cài đặt trên Lenovo P780 có hiệu suất kém nhất. Thuật toán đề xuất trong luận án và phần mềm S-Health có kết quả sai số trung bình xấp xỉ nhau tương ứng là 0,16% và 0,32%. (xem Bảng 4-8).

Bảng 4-8. So sánh giữa thuật toán đề xuất với các ứng dụng thương mại khác nhau khi thực hiện đi bộ tự do 500 bước.

Số lần thực hiện	1	2	3	4	5	Số bước đếm được trung bình	Sai số
Số bước thực tế	500	500	500	500	500	500	0
Hệ thống đề xuất	500	498	499	500	499	499,2	0,16%

Phần mềm S-Health trên Galaxy S5 (Android 6.01) [ 46 ]	499	507	489	477	482	490,8	2,40%
Phần mềm Health trên iPhone 5s (iOS 10.3.3) [ 45 ]	500	502	498	503	499	500.4	0,32%
Phần mềm Pedometer & Weight Loss Coach được cài đặt trên điện thoại Lenovo P780 [ 47 ]	461	448	376	483	472	448	10,40%

#### 4.1.2.3. Thử nghiệm với Tập dữ liệu công khai

Thuật toán đề xuất đã được thử nghiệm trên các bộ dữ liệu công khai [72], dữ liệu công khai được thu thập từ Samsung S6 ở các vị trí khác nhau: Tay, túi trước, túi đeo sau, túi đeo cổ, túi xách và băng đeo tay. Bộ dữ liệu công khai [72] có sẵn tại: <https://github.com/Oxford-step-counter/DataSet/tree/master/validation> (Truy cập ngày 30 tháng 8 năm 2018). Thuật toán đề xuất đã đạt được kết quả rất tốt với độ chính xác trung bình là 97,04%.

## 4.2. Ước lượng độ dài bước chân

Chiều cao của lính cứu hỏa và trạng thái di chuyển là 2 tham số đầu vào ban đầu để xác định tham số K khi tiến hành ước lượng chiều dài bước chân (xem bảng). Khi đó, chiều dài bước chân được ước lượng dựa trên tham số K và giá trị gia tốc cực đại  $A_{max}$  và giá trị gia tốc cực tiểu  $A_{min}$  của mỗi bước. Dựa trên tổng chiều dài mỗi bước chân ước lượng được để tính ra quãng đường dịch chuyển.

Chiều cao	Trạng thái	Tham số K
$\geq 1.75m$	Đi bộ	$0.738 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$
	Chạy	$1.162 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$
$1.65m < \& < 1.75m$	Đi bộ	$0.724 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$
	Chạy	$1.099 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$
$1.55m \leq \& \leq 1.65$	Đi bộ	$0.692 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$
	Chạy	$1.034 - 0.37 \times v_{step} + 0.15 \times v_{step}^2$

### 4.3. Ước lượng thời điểm chuyển hướng và hướng dịch chuyển

#### 4.3.1. Ước lượng thời điểm chuyển hướng

Cảm biến từ trường IMU 9250 với tần số lấy mẫu (Fs) bằng 50Hz được sử dụng để thu lại từ trường của trái đất theo các trục  $M_x$ ,  $M_y$  và  $M_z$ .

Để minh họa rõ sự thay đổi của tín hiệu từ khi chuyển hướng, luận án đã đề xuất tính giá trị trung bình của  $MaxMin\_X(i)$  và  $MaxMin\_Z(i)$  theo công thức sau:

$$M(i) = \frac{MaxMin\_x(i) + MaxMin\_z(i)}{2} \quad (4-16)$$

Các tín hiệu  $M_x$  và  $M_z$  được kết hợp để giải quyết những hạn chế liên quan tới tín hiệu thu được trên mỗi trục. Dựa trên sự kết hợp này, có thể phát hiện sự thay đổi hướng dịch chuyển trong quá trình di chuyển của các tinh nguyên viên thông qua sử dụng một ngưỡng được đề xuất thể hiện trong công thức sau:

$$thresh = \frac{\max(M) - \min(M)}{2} \quad (4-17)$$

Sau khi so sánh và chuẩn hóa, tín hiệu hiển thị rõ ràng thời điểm chuyển hướng, các giá trị 1 và 0 lần lượt thể hiện sự chuyển hướng và không chuyển hướng.

#### 4.3.2. Ước lượng hướng dịch chuyển

Hướng dịch chuyển được xác định dựa trên sự thay đổi tín hiệu của các trục  $M_x$  và  $M_z$ . Do đó, luận án đã đề xuất sử dụng ngưỡng  $threshold\_x$  và  $threshold\_z$  để phát hiện tín hiệu thay đổi theo trục  $M_x$  và  $M_z$ . Nếu giá trị tín hiệu lớn hơn hoặc nhỏ hơn ngưỡng đề xuất, tín hiệu theo từng trục sẽ được chuẩn hóa thành 1 hoặc 0 tương ứng.

Hướng dịch chuyển được xác định dựa trên tín hiệu chuẩn hóa của cả  $M_x\_normal$  và  $M_z\_normal$ . Khi các giá trị của  $M_x\_normal$  và  $M_z\_normal$  bằng 1, có nghĩa là tín hiệu chuẩn hóa thuộc mức cao (H) và 0 có nghĩa là mức thấp (L).

Sự gia tăng giá trị của tín hiệu chuẩn hóa từ 0 đến 1 được gọi là tín hiệu tăng ( $\uparrow$ ), ngược lại được gọi là suy tín hiệu giảm ( $\downarrow$ ). Do đó, sự thay đổi tín hiệu của  $M_x\_normal$  và  $M_z\_normal$  được sử dụng để xác định hướng rẽ.

Bảng 4-11. Ước lượng hướng dịch chuyển dựa trên sự kết hợp giá trị của  $Mx\_normal$  và  $Mz\_normal$ .

Hướng dịch chuyển/tín hiệu	Rẽ phải				Rẽ trái			
	$Mx\_normal$	H	L	↑	↓	H	L	↓
$Mz\_normal$	↓	↑	H	L	↑	↓	H	L

Ước lượng hướng rẽ sẽ được lưu lần lượt trong mảng [] với giá trị 1 liên quan đến rẽ phải và 0 là rẽ trái.

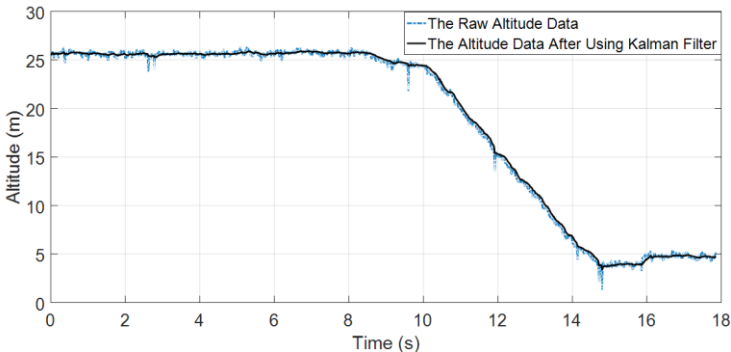
**4.4. Ước lượng vị trí theo chiều dọc**

Cảm biến áp suất được sử dụng để ước lượng vị trí của lính cứu hỏa theo chiều dọc trong nhà/công trình. Dựa vào các giá trị áp suất đo được để ước tính độ cao theo công thức sau:

$$H = 44330 * \left( 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right) \tag{4-18}$$

$p_0$  là áp suất ở mực nước biển ( $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$ ) và là áp suất đo được bằng cảm biến áp suất.

Dựa trên các giá trị độ cao ước lượng được và thông tin bản đồ để ước lượng vị trí thẳng đứng của các lính cứu hỏa.



Hình 4-25. Các dữ liệu trước và sau khi sử dụng bộ lọc Kalman đơn giản.

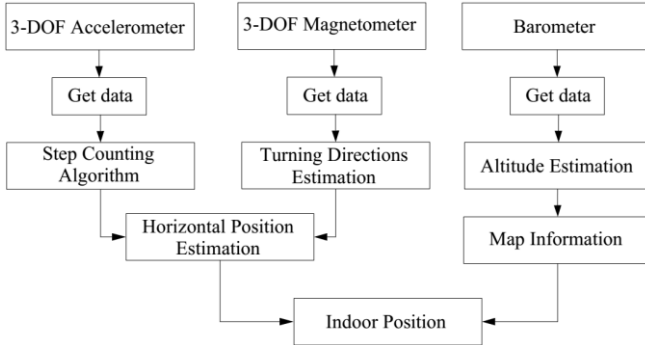
Dựa vào hình 4-25 ở trên có thể thấy rằng khi thang máy di chuyển từ tầng 7 xuống tầng 2 thì áp suất sẽ tăng lên. Dựa theo công thức 4-18, luận án đã tính toán độ cao thay đổi từ khoảng 21m xuống 5m.

**4.5. Đề xuất mô hình định vị trong nhà**

Bên cạnh các hướng được ước lượng dựa trên cảm biến gia tốc và cảm biến từ trường, luận án đã ước lượng được vị trí theo chiều dọc dựa



trên tín hiệu thu được từ cảm biến áp suất. Thuật toán ước lượng vị trí theo chiều dọc đã được đề xuất trong công trình công bố [84] của nghiên cứu sinh và cộng sự. Hơn nữa, thuật toán quay đầu được kết hợp với đếm bước [18] để phát hiện vị trí trong nhà của người dùng. Phương pháp kết hợp dữ liệu thu được từ cảm biến được đề xuất như hình sau:



Hình 4-27. Sơ đồ hệ thống định vị trong nhà dựa trên kết hợp dữ liệu thu được từ cảm biến

#### 4.6. Kết luận

Trong chương này, luận án đã phát triển thành công tính năng đếm bước có độ chính xác cao với phản hồi theo thời gian thực bằng cách sử dụng gia tốc kế 3-DoF chi phí thấp cho các trạng thái đi bộ khác nhau. Luận án đã giải quyết thành công các vấn đề đếm quá, đếm thiếu và đi bộ sai bằng cách đề xuất bốn đặc trưng: Khoảng cách đỉnh tối thiểu, độ nổi trội của đỉnh, ngưỡng động và loại bỏ rung động kết hợp với các đạch trung phát hiện đỉnh, tính chu kỳ và tính tương tự. Mức độ nổi bật đỉnh tối thiểu và ngưỡng động là các kỹ thuật mới và mạnh mẽ trong việc loại bỏ đỉnh giả trong đếm bước. Trong tương lai, nghiên cứu sinh sẽ mở rộng phát hiện các bước ở trạng thái bò để hỗ trợ hệ thống định vị trong nhà dự đoán vị trí của lính cứu hỏa đang làm nhiệm vụ.

Chương này cũng trình bày phương pháp ước tính độ dài bước, hướng và thời điểm chuyển hướng; vị trí theo chiều dọc. Phương pháp ước tính độ dài bước được đề xuất thích ứng với chiều cao và trạng thái của người dùng. Do đó, nó có thể đạt được độ chính xác rất cao. Bên cạnh đó, sự thay đổi tín hiệu của gia tốc từ trường dọc theo trục  $M_x$  và  $M_z$  và cảm biến áp suất được sử dụng để ước lượng hướng rẽ và độ cao tương ứng với độ chính xác cao.

## CHƯƠNG 5. ĐỊNH VỊ VÀ THEO DÕI LÍNH CỨU HỎA TRONG NHÀ BẰNG CÁCH SỬ DỤNG KẾT HỢP DỮ LIỆU ĐA CẢM BIẾN VÀ THUẬT TOÁN ĐỐI SÁNH BẢN ĐỒ

Chương 5 trình bày kết quả thực nghiệm thuật toán định vị trong nhà được đề xuất sử dụng thuật toán tổng hợp dữ liệu đa cảm biến và đối sánh bản đồ. Có 6 kịch bản từ đơn giản đến phức tạp đã được thử nghiệm trong quá trình thực nghiệm.

### 5.1. Kết hợp dữ liệu

Phương pháp phát hiện thương tích, đếm bước, ước lượng độ dài bước, ước lượng hướng quay, thời gian quay và ước lượng vị trí thẳng đứng đã được đề xuất trong chương 3 và chương 4 của luận án này.

Phương pháp của các phần này sẽ không trình bày trong chương này. Trong chương này, luận án chủ yếu tập trung vào việc đề xuất thuật toán phù hợp để tổng hợp thông tin của các phần này nhằm ước tính người bị thương và vị trí của lực lượng chữa cháy tại bên trong tòa nhà.

### 5.2. Kết hợp dữ liệu và đối sánh bản đồ để định vị vị trí trong nhà

#### 5.2.1. Thiết lập thí nghiệm

Quá trình ghi lại dữ liệu được thu thập từ thí nghiệm được thực hiện trên tám tình nguyện viên nam tuổi: 18-28, chiều cao: 1,65 - 1,78 m, cân nặng: 58 - 76 kg được tuyển chọn từ Đại học Phòng cháy và Chữa cháy (UFPF).

Luận án này đã sử dụng *times[]* và *turn[]* các mảng để lưu thời gian rẽ và hướng rẽ tương ứng để kết hợp với việc đếm bước và ước tính độ dài bước để định vị và theo dõi trong nhà.

Ước tính rẽ dựa trên tín hiệu được ghi lại từ một từ kế; đếm bước và ước tính độ dài bước dựa trên tín hiệu được ghi lại từ máy đo gia tốc. Từ kế và gia tốc kế có cùng tần số lấy mẫu là  $F_s = 50\text{Hz}$ . Do đó, luận án đã kết hợp dữ liệu từ các cảm biến này để hỗ trợ định vị và theo dõi trong nhà.

#### 5.2.2. Thử nghiệm các tình huống

**Tình huống 1:** Đếm bước với ba lần rẽ ở trạng thái đi bộ tự do.

**Tình huống 2:** Đếm bước với hai lần quay đầu của trạng thái đi bộ tự do từ đầu hành lang (điểm đầu) đến cuối hành lang (điểm cuối).

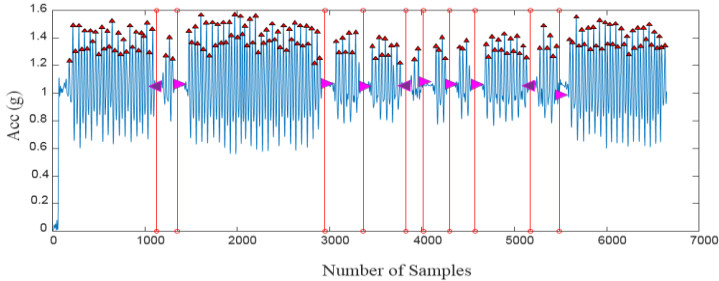
**Tình huống 3:** Đếm bước với ba lần quay đầu ở trạng thái đi bộ tự do từ bên ngoài tòa nhà và đi bộ quanh hành lang.

**Tình huống 4:** Đi bộ tự do từ bên trong phòng đến cuối hành lang

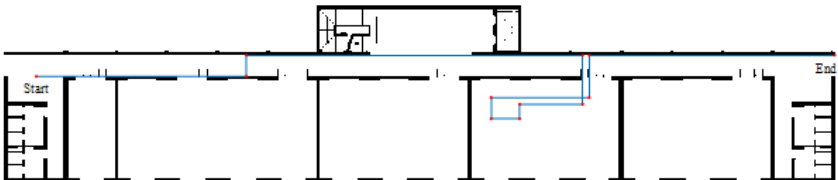
**Tình huống 5:** Đi bộ tự do từ đầu hành lang (điểm bắt đầu) đến một phòng sau đó đi bộ từ phòng đến cuối hành lang (điểm cuối) với bảy lần quay đầu và đi ngược lại.

**Tình huống 6:** Đi thẳng 30 bước rồi rẽ trái - đi thẳng 3 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 48 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 8 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 10 bước rồi rẽ trái - đi thẳng 2 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 4 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 3 bước rồi rẽ phải - đi thẳng 14 bước rồi rẽ trái - đi thẳng bước rồi rẽ phải - đi thẳng 35 bước rồi dừng lại.

Dựa trên số bước đếm và thời gian rẽ trong Hình dưới đây có thể thấy rõ rằng thuật toán đề xuất đã phát hiện chính xác số bước và số hướng rẽ. Kết quả thí nghiệm trong Hình... minh họa vị trí trong nhà của tình nguyện viên với hiệu suất và độ chính xác cực cao.



Hình 5-10 . Kết quả thử nghiệm đếm bước và rẽ hướng đi bộ tự do của kịch bản 6



Hình 5 - 11 . Vị trí trong nhà của kịch bản 6 trên bản đồ

Bảng dưới đây là kết quả tóm tắt của 5 kịch bản trên.

Bảng 5-1. Kết quả thử nghiệm về đếm bước của thuật toán được đề xuất trong luận án

Kịch bản	Số lượng bước thực tế	Các bước được phát hiện bởi thuật toán đề xuất	Sai số đếm bước
1	16	16	0
2	122	122	0
3	248	248	0
4	112	112	0

5	148	148	0
6	163	163	0

Bảng 5-2. Kết quả thử nghiệm về thời điểm chuyển hướng và hướng dịch chuyển của thuật toán được đề xuất trong luận án

Kịch bản	Hướng rẽ đúng	Thời điểm chuyển hướng được xác định bởi thuật toán đề xuất	Sai số thời điểm chuyển hướng và hướng dịch chuyển	Sai số khoảng cách (m)
1	Rẽ phải 3 lần	Rẽ phải 3 lần	0	N / A
2	Rẽ trái 2 lần	Rẽ trái 2 lần	0	0
3	Quay phải 1 lần và rẽ trái 2 lần	Quay phải 1 lần và rẽ trái 2 lần	0	1,3
4	Quay phải 2 lần và rẽ trái 3 lần	Quay phải 2 lần và rẽ trái 3 lần	0	0
5	Quay phải 3 lần và rẽ trái 4 lần	Quay phải 3 lần và rẽ trái 4 lần	0	1.1
6	Quay phải 7 lần và rẽ trái 3 lần	Quay phải 7 lần và rẽ trái 3 lần	0	1,6

Dựa trên kết quả tổng hợp trong bảng 5-1 và bảng 5-2 ở trên có thể thấy rằng thuật toán đề xuất đã phát hiện chính xác số bước, thời gian rẽ và hướng rẽ. Độ chính xác của việc đếm bước, thời gian rẽ và hướng rẽ trong hệ thống định vị và theo dõi trong nhà là 100%. Sai số cao nhất về khoảng cách giữa vị trí thực và vị trí ước tính chỉ là 1,6m và các vị trí trên bản đồ hiển thị chính xác các phòng mà các tình nguyện viên được vào.

### 5.3. Kết luận

Chương này đã đánh giá phương pháp đề xuất về định vị trong nhà với nhiều kịch bản từ đơn giản đến phức tạp. Dựa trên kết quả thử nghiệm ở Bảng 5-1 và 5-2 có thể thấy rằng phương pháp đề xuất phát hiện được số bước, số vòng quay, thời gian quay đầu, hướng quay đầu với độ chính xác rất cao. Hơn nữa, các vị trí trong nhà hiển thị chính xác trên bản đồ với sai số chấp nhận được.