

HỆ THỐNG PHÁT HIỆN CHUYỂN ĐỘNG VÀ BÁO ĐỘNG TRONG NHÀ THÔNG MINH

Nguyễn Thị Mỹ Hạnh¹, Nguyễn Minh Sơn^{2,3*}, Kim Bichlara¹, Phạm Thanh Ngân¹

¹ Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Ngoại ngữ - Tin học TP. Hồ Chí Minh

² Khoa Kỹ thuật máy tính, Trường Đại học Công nghệ thông tin-Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh

³ Trưởng phòng Phòng thí nghiệm Nghiên cứu thiết kế vi mạch tích hợp chuyên dụng, Trường Đại học Công nghệ thông tin-Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh

hanhntm@hufplit.edu.vn, sonnm@uit.edu.vn, 22DH110352@st.hufplit.edu.vn, 22DH112334@st.hufplit.edu.vn

TÓM TẮT— Trong bối cảnh công nghệ Internet of Things (IoT) phát triển mạnh mẽ, việc ứng dụng các thiết bị thông minh trong đời sống trở thành xu hướng tất yếu. Nghiên cứu này trình bày việc thiết kế và triển khai hệ thống chống trộm và báo động trong nhà thông minh dựa trên nền tảng ESP32 và cảm biến HC-SR501. Hệ thống có khả năng phát hiện chuyển động, kích hoạt còi báo và gửi cảnh báo đến người dùng thông qua giao thức MQTT và nền tảng Node-RED. Kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình hoạt động ổn định, phát hiện chuyển động chính xác, độ trễ thấp, và có thể mở rộng cho nhiều ứng dụng IoT khác trong lĩnh vực an ninh nhà ở.

Từ khóa— ESP32, PIR, Node-Red, HC-SR501, IoT.

I. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh chuyển đổi số diễn ra mạnh mẽ trên toàn cầu, công nghệ hiện đại đã góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống và đảm bảo an toàn xã hội. Tại Việt Nam, cùng với quá trình phát triển đô thị hoá nhanh, các vấn đề liên quan đến an ninh và nhà ở, đặc biệt là tình trạng trộm cắp và xâm nhập trái phép, đang ngày càng gia tăng. Những biện pháp bảo vệ truyền thống như khoá cơ học, hệ thống giám sát truyền thống hay thiết bị cảnh báo thụ động vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế về khả năng tự động hoá và cảnh báo trong thời gian thực. Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ mới nhằm xây dựng hệ thống an ninh thông minh là rất cần thiết.

Hệ thống phát hiện và báo động trong nhà thông minh được thực hiện với mục tiêu phát triển mô hình hệ thống giám sát an ninh dựa trên nền tảng Internet of Things (IoT) [1]. Hệ thống không chỉ có khả năng phát hiện chuyển động mà còn tự động gửi cảnh báo đến người dùng thông qua Internet, cụ thể là gửi báo động qua email, giúp nâng cao khả năng giám sát và phản ứng nhanh trước các tình huống xâm nhập bất hợp pháp. Hệ thống được kỳ vọng góp phần thúc đẩy việc ứng dụng IoT trong lĩnh vực an ninh dân dụng, đồng thời mang lại giải pháp phù hợp với nhu cầu và điều kiện thực tế của các hộ gia đình Việt Nam.

Mục tiêu của nghiên cứu là thiết kế và triển khai một hệ thống chống trộm có khả năng hoạt động ổn định trong môi trường nhà ở dân dụng, sử dụng cảm biến hồng ngoại thụ động PIR HC-SR501 để phát hiện chuyển động, kết hợp với bộ vi điều khiển ESP32 nhằm xử lý và truyền dữ liệu. Hệ thống được lập trình để kích hoạt còi báo động khi phát hiện chuyển động và đồng thời gửi thông báo đến người dùng thông qua giao thức Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) [2]. Toàn bộ quá trình xử lý dữ liệu và phản hồi được tối ưu hoá nhằm đảm bảo độ chính xác cao.

Trong quá trình thực hiện, công cụ phần mềm như Arduino IDE cho lập trình vi điều khiển, Node-RED [3], [4] để giám sát và trực quan hoá dữ liệu, cùng PyCharm để xây dựng và kiểm thử thuật toán được đề xuất. Bên cạnh đó, hệ thống còn được tích hợp chức năng gửi email cảnh báo tự động nhằm hỗ trợ người dùng theo dõi từ xa. Các thử nghiệm được tiến hành trong nhiều điều kiện ánh sáng và môi trường khác nhau nhằm đánh giá hiệu suất của cảm biến, khả năng truyền nhận dữ liệu và độ ổn định của hệ thống trong thời gian vận hành dài.

Phạm vi của nghiên cứu này tập trung trong không gian nhà ở, đặc biệt là các khu vực cửa ra vào và phòng khách – nơi có nguy cơ xâm nhập cao. Hệ thống được thử nghiệm trên mô hình thu nhỏ, có khả năng mở rộng và ứng dụng thực tế. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, phát hiện chính xác chuyển động trong điều kiện sáng và tối, với tỷ lệ cảnh báo đúng đạt trên 90% và tỷ lệ truyền dữ liệu thành công qua MQTT đạt 100%. Mô hình có ưu điểm là chi phí thấp, tiêu thụ điện năng nhỏ và dễ dàng lắp đặt, phù hợp với gia đình hoặc không gian văn phòng nhỏ.

Về mặt khoa học, kết quả nghiên cứu góp phần minh chứng tính khả thi trong việc tích hợp IoT với các cảm biến thông minh để hình thành hệ thống an ninh tự động. Việc kết hợp giữa phần cứng và phần mềm giúp những người nghiên cứu cùng lĩnh vực hiểu rõ hơn về nguyên lý truyền thông dữ liệu, xử lý tín hiệu cảm biến và xây dựng ứng dụng IoT thực tiễn. Về mặt thực tiễn, hệ thống mang lại giải pháp khả dụng, giúp người dùng chủ động trong việc bảo vệ tài sản, giảm thiểu rủi ro trộm cắp và nâng cao mức độ an toàn trong hoạt động hằng ngày.

* Corresponding Author

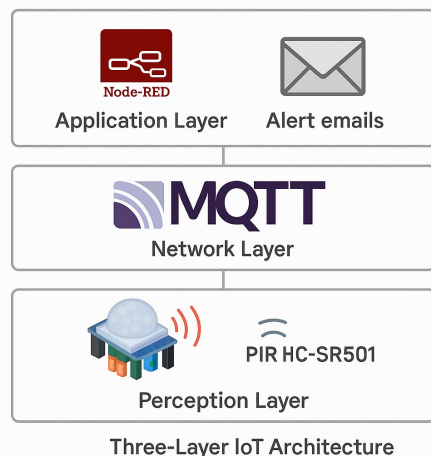
Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Phần II trình bày phương pháp nghiên cứu, bao gồm mô hình hệ thống và quy trình xử lý dữ liệu; phần III trình bày thực nghiệm và kết quả đánh giá; phần IV thảo luận các hạn chế và các vấn đề còn bỏ ngỏ; phần V trình bày lời cảm ơn; cuối cùng, phần V trình bày một số tài liệu tham khảo.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu được xây dựng theo hướng tiếp cận thực nghiệm, kết hợp mô hình phần cứng – phần mềm nhúng – xử lý dữ liệu đám mây. Về bản chất, mô hình này được xây dựng trên nền tảng kiến trúc IoT ba lớp (Three-Layer IoT Architecture) (hình 1):

- Lớp Perception Layer: thu nhận dữ liệu vật lý thông qua cảm biến PIR HC-SR501.
- Lớp Network Layer: chịu trách nhiệm truyền dữ liệu từ thiết bị cảm biến đến nền tảng xử lý trung gian thông qua ESP32 và giao thức MQTT.
- Lớp Application Layer: thực hiện hiển thị, giám sát và cảnh báo thông qua Node-RED, kết hợp dịch vụ gửi email tự động.

Cấu trúc ba lớp này (hình 1) đảm bảo khả năng mở rộng, phân tầng chức năng, và truyền dữ liệu thời gian thực, phù hợp với các hệ thống giám sát thông minh quy mô hộ gia đình.



Hình 1. Nguyên lý kiến trúc IoT ba lớp

A. KIẾN TRÚC HỆ THỐNG 3 LỚP

1. PERCEPTION LAYER

Cảm biến PIR HC-SR501 [5] có nhiệm vụ phát hiện bức xạ hồng ngoại do cơ thể người phát ra. Khi cảm biến phát hiện sự thay đổi năng lượng hồng ngoại, nó tạo ra tín hiệu mức cao HIGH ở đầu ra.

Tín hiệu này được mô hình hoá bằng hàm:

$$S(t) = \begin{cases} 1, & \text{nếu có chuyển động tại thời điểm } t \\ 0, & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (1)$$

Giá trị $S(t)$ ở công thức (1) được truyền sang lớp mạng để xử lý và kích hoạt còi báo.

2. NETWORK LAYER

ESP32 là bộ vi điều khiển Wifi có hai vai trò chính:

- Nhận dữ liệu $S(t)$ từ cảm biến PIR
- Gửi dữ liệu này đến MQTT thông qua giao thức publish-subscribe

Quá trình truyền dữ liệu được mô tả bằng hàm:

$$D(t) = P(S(t), \theta) \quad (2)$$

Trong đó:

- $D(t)$ là gói dữ liệu được gửi qua MQTT tại thời điểm t
- θ là tập hợp tham số mạng gồm IP, cổng, và Quality of Service

Độ tin cậy của mạng được đánh giá bằng tỷ lệ truyền thành công:

$$R = \frac{N_{success}}{N_{total}} \times 100\% \quad (3)$$

Với $R > 98\%$ được xem là đạt yêu cầu ổn định trong hệ thống giám sát thời gian thực.

3. APPLICATION LAYER

Node-RED đảm nhận xử lý dữ liệu đến từ MQTT, hiển thị trạng thái, lưu log và gửi email cảnh báo tự động. Khi dữ liệu nhận được có $S(t) = 1$, hệ thống sẽ thực thi hàm phản ứng:

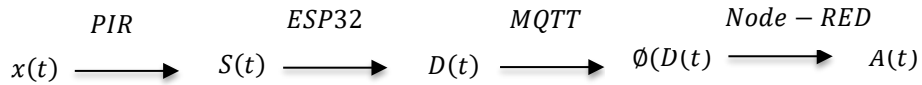
$$A(t) = \emptyset(D(t)) \tag{4}$$

Trong đó:

- A(t) là hành động được thực hiện: phát còi, hiển thị cảnh báo, gửi email
- $\emptyset(paramater)$ là ánh xạ từ gói dữ liệu đến hành động tương ứng.

B. QUY TRÌNH XỬ LÝ DỮ LIỆU

Hệ thống được thực hiện theo chuỗi xử lý khép kín theo 3 lớp (1), (2), (3), (4):



Hình 2. Quy trình xử lý dữ liệu

Thời gian phản hồi trung bình của hệ thống được đo lường thực nghiệm là:

$$T_r = T_{sensor} + T_{process} + T_{MQTT} + T_{display} \approx 19\ ms \tag{5}$$

Quy trình xử lý dữ liệu (hình 2) được biểu diễn dưới dạng mã giả thuật toán 1:

#####

Thuật toán 1: Phát hiện và cảnh báo chuyển động

1. Khởi tạo kết nối Wi-Fi và MQTT
2. Đặt cảm biến PIR ở chế độ giám sát
3. Nếu PIR phát hiện chuyển động (S(t) = 1):
 - Gửi gói tin "Motion Detected" tới MQTT Broker
 - Kích hoạt còi báo động
 - Gửi email cảnh báo qua Node-RED
 - Lưu log thời gian vào hệ thống
4. Lặp lại quá trình mỗi $\Delta t = 100\ ms$

#####

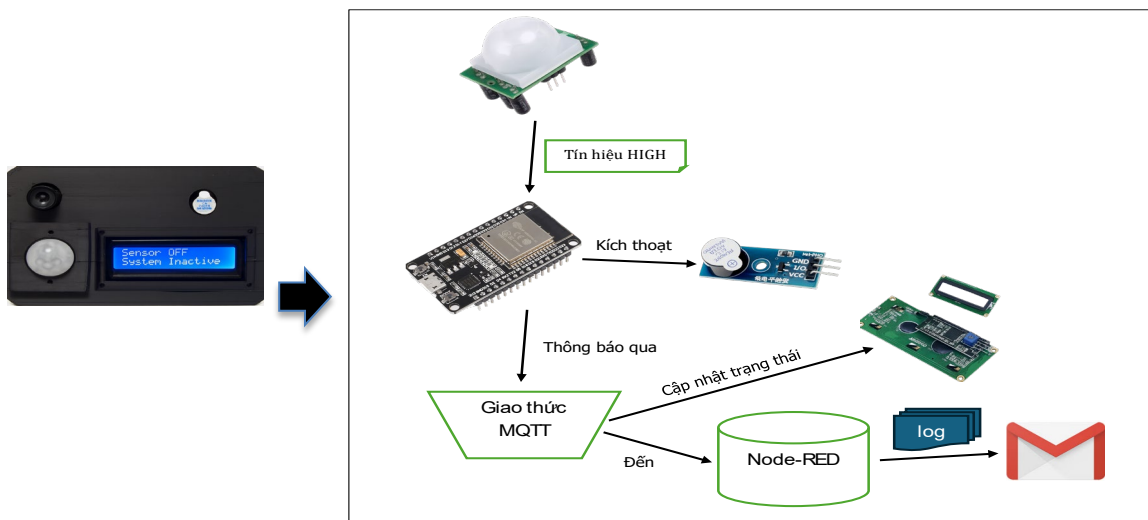
C. MÔ HÌNH PHẦN CỨNG VÀ PHẦN MỀM

Mục tiêu của nghiên cứu này là ứng dụng an ninh, cảnh báo xâm nhập cho hộ gia đình, để đánh giá hiệu quả hệ thống, một mô hình thử nghiệm được đề xuất trong môi trường nhà ở, với các yếu tố ánh sáng thay đổi giữa ban ngày và ban đêm. Các thiết bị chính bao gồm: ESP32 CP202 (bộ điều khiển trung tâm), cảm biến PIR HC-SR501, còi Buzzer MH-PHO, màn hình LCD 1602 và camera ESP32-3S-CAM.

Hệ thống được cấu hình để tự động phát hiện chuyển động, kích hoạt còi báo, đồng thời gửi cảnh báo qua MQTT đến nền tảng Node-RED (hình 4) và hiển thị trạng thái hoạt động trên LCD.

1. KIẾN TRÚC PHẦN CỨNG VÀ SƠ ĐỒ KẾT NỐI

Hệ thống hoạt động theo chu trình (hình 3): cảm biến PIR giám sát vùng được cấu hình; khi phát hiện chuyển động, tín hiệu HIGH được gửi về ESP32, ESP32 kích hoạt còi báo động, đồng thời gửi thông báo qua giao thức MQTT đến nền tảng Node-RED và hiển thị log dữ liệu, gửi email cảnh báo, trong khi LCD cập nhật trạng thái thực tế "Motion Deteted".



Hình 3. Sơ đồ kết nối phần cứng

Node- RED. Node-RED hiển thị log dữ liệu, gửi email cảnh báo, trong khi LCD cập nhật trạng thái thực tế "Motion Deteted".

2. THÔNG SỐ KỸ THUẬT PHẦN CỨNG CỦA CÁC MODULE CHÍNH

a) Cảm biến PIR HC-SR501

Điện áp hoạt động 4.5-20V

Dòng điện tiêu thụ 50-70 μ A

Góc phát hiện 110⁰

Khoảng cách: 3-7 mét

Thời gian trễ: 0.3-200 giây có thể điều chỉnh

Cảm biến phát hiện năng lượng hồng ngoại thay đổi khi có người di chuyển

b) Còi báo động Buzzer MH-PHO

Điện áp hoạt động: 3.3-5V

Tần số phát âm báo: 2.7-4.0 kHz

Mức âm thanh: 85 dB tại 10cm

Còi được kích hoạt khi ESP32 xuất mức HIGH tại chân GPIO tương ứng

c) Màn hình LCD1602

Màn hình LCD1602 có điện áp hoạt động 5V

Hiển thị 16 ký tự x 2 dòng

Giao tiếp I2C

Tốc độ 100 kHz

Màn hình được sử dụng để hiển thị trạng thái như: "System active", "System Inactive", "Motion Detected", "Warning Sent".

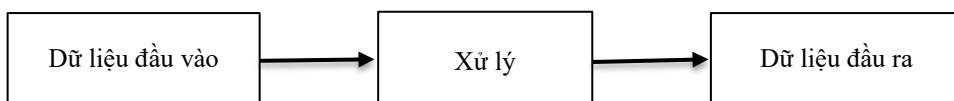
3. CÔNG CỤ PHẦN MỀM

a) Node-RED

Node-RED là một công cụ lập trình trực quan dựa vào NodeJS, chủ yếu được sử dụng để kết nối và điều khiển các thiết bị IoTs (Internet of Things), API (Application Programming Interface) và dịch vụ trực tuyến.

Node-RED được phát triển bởi IBM và cung cấp một môi trường phát triển tích hợp (IDE) trên nền tảng web, cho phép người dùng dễ dàng tạo các ứng dụng bằng cách kéo thả nút (nodes) và kết nối chúng thông qua dây (wires)

Một ứng dụng Node-RED hoạt động theo mô hình luồng dữ liệu, một luồng bao gồm các khối lệnh liên kết với nhau theo dạng:



Hình 4. Quy trình xử lý dữ liệu phát hiện chuyển động trong hệ thống IoT

b) MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), là một giao thức giao tiếp dựa trên mô hình publish-subscribe. Giao thức này cho phép các thiết bị IoT gửi-nhận các tin nhắn và đơn giản qua mạng Internet.

MQTT có ba thành phần chính: thiết bị gửi tin (publisher), máy chủ trung gian (broker), thiết bị nhận tin (subscriber). MQTT là công cụ phần mềm, có giao diện (GUI – Graphic User Interface) giúp kiểm tra và giám sát các kết nối MQTT dễ dàng, giả lập để gửi hay nhận dữ liệu MQTT.

III. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ

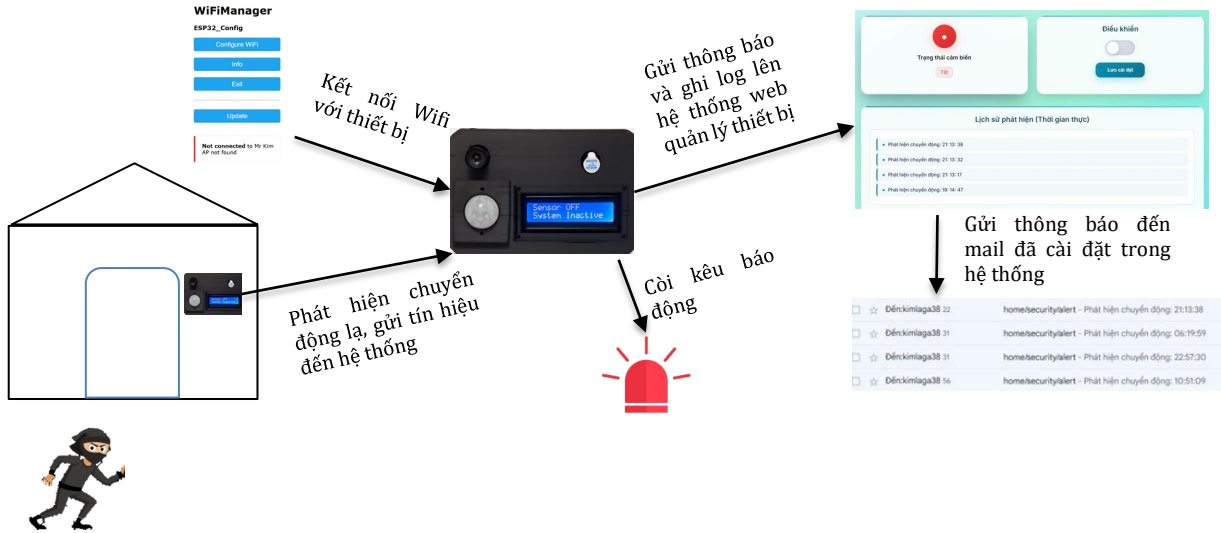
A. THỰC NGHIỆM

1. MÔ TẢ HỆ THỐNG

Hệ thống phát hiện chuyển động và báo động (hình 5) bao gồm các thành phần chính như cảm biến PIR HC-SR501, còi báo động, ESP32, màn hình LCD I2C và các công cụ giao tiếp MQTT, Node-RED, gmail giúp hệ thống hoạt động tốt trong chuỗi hoạt động phát hiện – báo động – cảnh báo – lưu dữ liệu.

Cảm biến PIR để phát hiện chuyển động chính sau đó thông qua vi xử lý ESP32 để xử lý tín hiệu như phát tín hiệu để còi báo động, hiện màn hình LCD và đồng thời gửi dữ liệu phát hiện chuyển động thông qua giao thức MQTT để gửi về Node-RED xử lý dữ liệu gửi mail cảnh báo và đồng thời lưu trữ dữ liệu về các hoạt động phát hiện.

2. KIẾN TRÚC HỆ THỐNG



Hình 5. Kiến trúc thống phát hiện và báo động trong nhà thông minh

Mô tả kiến trúc hệ thống

Khi cấp nguồn cho hệ thống ESP32 sẽ khởi tạo màn hình LCD, thiết lập chân Pin cho còi báo và cảm biến sau đó kết nối mạng. Sau khi có kết nối mạng sẽ tiếp tục kết nối tới MQTT Broker thông qua hàm setup (), loop () được trình bày bằng mã giả ở thuật toán 2, 3.

#####

Thuật toán 2: cài đặt kết nối MQTT

setup():

1. Bắt đầu giao tiếp với Serial với tốc độ 115200
2. Khởi tạo LCD 16x2 và hiển thị khởi tạo trên LCD
3. hình chân cho cảm biến và còi.
4. Cấu hình kết nối WiFi bằng WiFiManager:
 - Nếu kết nối wifi thành công, hiển thị ip trên LCD
 - Nếu kết nối thất bại, hiển thị thông báo và khởi động lại ESP32:
5. Khởi tạo NTP Client để lấy thời gian hiện tại.
6. Thiết lập kết nối MQTT:
 - Gán địa chỉ máy chủ MQTT (MQTT_server) và cổng (MQTT_port)
 - Gán hàm callback để xử lý tin nhắn nhận được
 - Gọi hàm reconnect () để kết nối MQTT

#####

Sau khi nhận tín hiệu HIGH hoặc LOW từ cảm biến nhiệt, mạch điều khiển chính ESP32 sẽ hiện cảnh báo lên LCD và phát còi cảnh báo, thông qua hàm:

#####

Thuật toán 3: loop():

1. Nếu kết nối MQTT bị ngắt, gọi hàm reconnect () để kết nối lại.
2. Xử lý các tin nhắn từ MQTT bằng hàm client.loop ().
3. Cập nhật thời gian từ máy chủ NTP.
4. Nếu cảm biến được bật và phát hiện chuyển động:
 - Hiển thị cảnh báo trên LCD.
 - Lấy thời gian hiện tại và tạo thành 1 string.
 - Gửi string lên alert_topic và lưu log.
 - Hiện thị LCD "Sensor OFF" và tắt còi.
7. Chờ 100 mili giây trước khi lặp lại vòng lặp.

#####

Trong quá trình thực nghiệm đã chứng minh được tín hiệu quả về tốc độ phản hồi, sự ổn định. Tuy nhiên để nâng cao phát hiện chính xác, giảm báo động giả đồng thời mở rộng phạm vi quan sát trong môi trường nhà ở và tăng trải nghiệm người dùng, cải tiến hệ thống về cả phần cứng và phần mềm là vấn đề còn bỏ ngỏ.

Về phần cứng, kết hợp thêm cảm biến âm thanh để phát hiện các tiếng động bất thường như tiếng kính vỡ, cửa đập mạnh. Khi kết hợp với PIR, hệ thống sẽ chỉ kích hoạt báo động khi cả hai tín hiệu đồng thời, giảm báo động giả từ con vật hoặc chuyển động môi trường; Cảm biến rung gắn trên cửa sổ hoặc cửa ra vào để gửi đi cảnh báo trước khi có người đột nhập vào.

Về phần mềm, phát triển thêm gửi cảnh báo qua ứng dụng trên điện thoại như Telegram, WhatsApp.

B. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Dữ liệu thử nghiệm trên thiết bị ESP32

Bảng 1. Dữ liệu thử nghiệm trong môi trường sáng bình thường: 500 lần

	Khung giờ từ	Đến	Môi trường	Điều kiện ánh sáng	Kịch bản	Ghi chú
1	13:30 PM	14:00 PM	Phòng khách	Trong nhà, ánh sáng bình thường, đèn: tắt/mở	Người đi qua cửa	Khoảng cách so với thiết bị: 2-3 mét
2	08:00 AM	08:30 AM	Phòng khách	Trong nhà, ánh sáng bình thường, đèn: tắt/mở	Vật nuôi di chuyển	Khoảng cách so với thiết bị: 2-3 mét

Bảng 2. Kết quả đạt được khi thực nghiệm môi trường sáng bình thường

	Độ nhạy PIR	Thời gian phản hồi (mili giây)	Phát hiện đúng (Có/Không)	Phát hiện sai (Có/Không)	Tỷ lệ báo động chính xác (%)	Tỷ lệ MQTT thành công (%)	Ghi chú
1	Cao	19	Có	Không	0.88	100	Ổn định với khoảng cách xa 5-6 mét
2	Trung bình	19	Có	Không	0.94	100	Ổn định
3	Thấp	19	Có	Có	0.74	100	Bỏ sót chuyển động nhỏ, tới gần cảm biến mới nhận ra

Bảng 3. Dữ liệu thử nghiệm trong môi trường ánh sáng tối: 500 lần

	Khung giờ từ	Đến	Môi trường	Điều kiện ánh sáng	Kịch bản	Ghi chú
1	17:00 PM	19:00 PM	Phòng khách	Trong nhà, ánh sáng tối, đèn: tắt/mở	Người đi qua cửa	Khoảng cách so với thiết bị: 2-3 mét
2	20:00 PM	22:30 PM	Phòng khách	Trong nhà, ánh sáng tối, đèn: tắt/mở	Vật nuôi di chuyển	Khoảng cách so với thiết bị: 2-3 mét

Bảng 4. Kết quả đạt được khi thực nghiệm môi trường tối

	Độ nhạy PIR	Thời gian phản hồi (mili giây)	Phát hiện đúng (Có/Không)	Phát hiện sai (Có/Không)	Tỷ lệ báo động chính xác (%)	Tỷ lệ MQTT thành công (%)	Ghi chú
1	Cao	19	Có	Không	0.89	100	Ổn định với khoảng cách xa 5-6 mét
2	Trung bình	19	Có	Không	0.96	100	Ổn định
3	Thấp	19	Có	Có	0.736	100	Bỏ sót chuyển động nhỏ, tới gần cảm biến mới nhận ra

Kết quả (bảng 4) sau 2 thử nghiệm ở môi trường sáng bình thường (bảng 2) và môi trường tối (bảng 3) : hoạt động ổn định trong cả hai môi trường khác nhau cả sáng và tối.

Thống kê trung bình các thử nghiệm được tiến hành trong 3 điều kiện: ban ngày, ban đêm, có nhiều môi trường (quạt, gió).

Bảng 5. Kết quả thu được:

Điều kiện thử nghiệm	Tỷ lệ phát hiện đúng (%)	Báo động giả (%)	Độ trễ phản hồi (ms)	Ổn định MQTT (%)
Ánh sáng ban ngày	95.2	3.1	19	100
Ánh sáng ban đêm	94.6	4.5	21	100
Có nhiều môi trường	91.8	6.7	22	98

Kết quả (bảng 5) cho thấy hệ thống đạt độ chính xác trung bình 94%, độ trễ <25ms và hoạt động ổn định trong 24 giờ liên tục. Dữ liệu truyền thông MQTT không bị mất gói, đảm bảo tính tin cậy và độ trễ thấp.

a) Ưu điểm

Độ nhạy cao, phản hồi nhanh, chi phí thấp, dễ mở rộng và tiêu thụ năng lượng ít.

b) Hạn chế

PIR bị ảnh hưởng bởi nguồn nhiệt khác không phân biệt được đối tượng là người hay vật nuôi; phụ thuộc vào tín hiệu Wi-fi.

C. KẾT LUẬN

Thông qua hai kịch bản thực nghiệm người dùng đi qua cửa hoặc vật nuôi trong môi trường phòng khách với các điều kiện ánh sáng khác nhau với cảm biến PIR HC-501 kết hợp ESP32 đã cho ra kết quả khả quan đáp ứng các yêu cầu của nghiên cứu.

Bảng 6. Bảng kết quả tổng quát thử nghiệm toàn hệ thống phần cứng

Tiêu chí	Kết quả
Thời gian phản hồi trung bình	19 mili giây: hệ thống xử lý gần như tức thời, phù hợp yêu cầu cảnh báo nhanh trong hệ thống an ninh.
Tỷ lệ phát hiện chính xác	Trung bình 85,77% khi điều chỉnh độ nhạy phù hợp có thể cho kết quả tốt nhất từ 94-96%. Hệ thống hoạt động ổn định trong điều kiện thiếu sáng nhờ cảm biến PIR.
Tiêu thụ điện năng	Khoảng 0,25W: đáp ứng được yêu cầu hoạt động liên tục 24/7 mà không lo bảo trì thường xuyên hay kiểm tra thiết bị có bị quá nhiệt không.
Chi phí triển khai	Khoảng dưới 500.000 VND, phù hợp hộ gia đình, công trường, công xưởng cần triển khai nhiều thiết bị bao phủ khu vực.

IV. NHỮNG HẠN CHẾ VÀ VẤN ĐỀ CÒN TỒN TẠI

Mặc dù hệ thống đạt độ chính xác cao và phản hồi nhanh, nhưng vẫn tồn tại một số giới hạn, mở ra nhiều hướng nghiên cứu tiềm năng cho cộng đồng học thuật và công nghiệp IoT.

Thứ nhất, cảm biến PIR HC-SR501 chỉ dựa trên thay đổi năng lượng hồng ngoại và chưa có khả năng phân biệt loại đối tượng di chuyển (người, vật nuôi). Điều này dẫn đến các trường hợp báo động giả khi xuất hiện nguồn nhiệt cục bộ hoặc vật nuôi nhỏ. Việc kết hợp cảm biến quang học, hoặc học sâu trên hình ảnh có thể là hướng mở để giảm thiểu sai số, nhưng vẫn cần thêm các nghiên cứu định lượng về hiệu quả năng lượng và chi phí triển khai.

Thứ hai, hệ thống phụ thuộc vào kết nối mạng không dây và giao thức MQTT hoạt động trong phạm vi mạng cục bộ. Trong bối cảnh môi trường truyền thông có thể bị nhiễu, hoặc thay đổi IP động, độ tin cậy dữ liệu và tính an toàn truyền thông vẫn là bài toán còn bỏ ngỏ. Việc tích hợp thêm cơ chế xác thực an toàn, mã hoá đầu cuối hoặc mở rộng sang mạng di động 5G là các hướng nghiên cứu đáng được tiếp tục khảo sát.

Thứ ba, môi trường thử nghiệm hiện tại mang tính mô hình thu nhỏ, được thực hiện trong không gian phòng khách có điều kiện ánh sáng, nhiệt độ ổn định. Các yếu tố thực tế như dòng người qua lại, luồng khí động học hoặc thay đổi đột ngột của nguồn nhiệt chưa được mô hình hoá đầy đủ. Việc đánh giá hệ thống trong quy mô lớn (khu dân

cư, xưởng sản xuất) và trong các điều kiện môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ cao, nhiều điện từ) vẫn là vấn đề cần được nghiên cứu sâu hơn để chứng minh tính bền vững và khả năng thích ứng của mô hình.

Từ tư, hệ thống xử lý hiện hoạt động theo cơ chế phản ứng tuyến tính chưa áp dụng các thuật toán dự báo hoặc mô hình học máy nhằm phân tích hành vi và dự đoán nguy cơ xâm nhập. Việc phát triển khung phân tích hành vi dựa trên chuỗi tín hiệu hoặc sử dụng mạng học sâu như LSTM, GRU có thể giúp hệ thống chuyển từ phát hiện thụ động sang cảnh báo chủ động – một hướng mở đầy hứa hẹn nhưng cũng đòi hỏi năng lực tính toán và tối ưu tài nguyên đáng kể.

Những hạn chế và vấn đề nêu trên không chỉ phản ánh ranh giới hiện tại của công trình mà còn gợi mở một lộ trình nghiên cứu đa ngành, kết hợp giữa kỹ thuật IoT, thị giác máy tính, phân tích dữ liệu và an toàn thông tin. Việc tiếp tục mở rộng theo hướng này sẽ đóng góp đáng kể vào nền tảng an ninh chủ động cho nhà thông minh, hướng tới hệ sinh thái đô thị thông minh và bền vững trong tương lai gần.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Srinivasulu Tadisetty, “The Internet of Things (IoT): An Overview”, Dec 2015, https://www.researchgate.net/publication/323834996_The_Internet_of_Things_IoT_An_Overview, [Accessed 01 07 2025].
- [2] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- [3] IBM Emerging Technology. (2013). Node-RED: A visual tool for wiring the Internet of Things. IBM. <https://nodered.org>.
- [4] Thomas, L., Kumar, M. V., Darshan, S. L., & Prashanth, B. S. (2023). Towards comprehensive home automation: Leveraging the IoT, Node-RED, and wireless sensor networks for enhanced control and connectivity. *Engineering Proceedings*, 59(1), 173. <https://doi.org/10.3390/engproc2023059173>.
- [5] Saini, A. (2025). How to build a motion detection alarm system using a PIR sensor and Arduino. *Innovation Yourself*. <https://innovationyourself.com/motion-detection-alarm-system-with-hc-sr501>.

MOTION DETECTION AND ALARM SYSTEM FOR SMART HOME

Nguyen Thi My Hanh, Nguyen Minh Son, Kim Bichlara, Pham Thanh Ngan

ABSTRACT— In the context of rapid advancements in Internet of Things (IoT) technologies, the integration of smart devices into daily life has become an inevitable trend. This study presents the design and implementation of a smart home intrusion detection and alarm system based on the ESP32 microcontroller and the HC-SR501 passive infrared (PIR) sensor. The system can detect motion, activate an audible alarm, and transmit real-time alerts to users via the MQTT communication protocol and the Node-RED automation platform. Experimental results demonstrate that the proposed model operates reliably, achieves accurate motion detection with low latency, and exhibits scalability for broader IoT-based applications in residential security.

Keywords— ESP32, PIR, Node-Red, HC-SR501, IoT.



Nguyễn Thị Mỹ Hạnh tốt nghiệp kỹ sư công nghệ thông tin tại Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh năm 2010 và tốt nghiệp thạc sĩ ngành Công nghệ thông tin tại trường Đại học Công nghệ thông tin – Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh năm 2017. Cô là giảng viên tại Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Ngoại ngữ - Tin học

TP.HCM từ năm 2018 đến nay. Lĩnh vực nghiên cứu chính của cô là thị giác máy tính, Internet of Things.



Nguyễn Minh Sơn tốt nghiệp kỹ sư kỹ thuật máy tính tại Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM năm 2001; tốt nghiệp thạc sĩ ngành Kỹ thuật máy tính tại trường Đại học Bách Khoa TP.HCM năm 2005 và là tiến sĩ ngành kỹ thuật máy tính tại Trường Đại học Ulsan, Hàn Quốc năm 2010. Hiện Ông là Trưởng khoa Khoa kỹ thuật máy

tính tại Trường Đại học Công nghệ thông tin – Đại học Quốc Gia TP.HCM và kiêm nhiệm chức vụ Trưởng phòng Phòng thí nghiệm nghiên cứu thiết kế vi mạch tích hợp chuyên dụng vào tháng 09/2025 tại Trường Đại học Công nghệ thông tin – Đại học Quốc Gia TP.HCM.



Kim Bichlara là sinh viên ngành an ninh mạng tại Trường Đại học Ngoại ngữ - Tin học TP.HCM năm học 2022-2026.



Phạm Thanh Ngân là sinh viên ngành an ninh mạng tại Trường Đại học Ngoại ngữ - Tin học TP.HCM năm học 2022-2026.