

**ĐẠI HỌC HUẾ**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC**  
**KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**

\*\*\*\*\*



**HỌC PHẦN: PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG IOT**  
**MÃ HỌC PHẦN: 2024-2025.2.TIN4024.004**

\*\*\*\*\*

**Đề Tài:**  
**Cảm biến đếm người trong không gian nhỏ với ESP32**

\*\*\*\*\*

**Giảng viên: Võ Việt Dũng**

**HUẾ THÁNG 4 – 2025**

## **Danh mục các từ viết tắt**

- ESP32: Vi điều khiển ESP32 tích hợp Wifi.
- IR: Cảm biến hồng ngoại (Infrared).
- OLED: Màn hình OLED.
- IoT: Internet of Things (Internet vạn vật).
- PIR: Passive infrared Sensor (Cảm biến hồng ngoại thụ động).
- Blynk: Nền tảng IOT để điều khiển thiết bị từ xa qua internet.

# MỤC LỤC

<b>I. Phần mở đầu.....</b>	<b>1</b>
----------------------------	----------

<b>II. Phần nội dung. ....</b>	<b>2</b>
--------------------------------	----------

1. Giới thiệu vấn đề. ....	2
----------------------------	---

2. Giải pháp đề xuất.....	3
---------------------------	---

a. Tổng quan về hệ thống.....	3
-------------------------------	---

b. Nguyên lý hoạt động. ....	3
------------------------------	---

3. Thiết kế hệ thống. ....	4
----------------------------	---

a. Thiết kế hệ thống Wokwi.....	5
---------------------------------	---

b. Thiết kế giao diện và tích hợp Blynk.....	6
--	---

4. Xử lý dữ liệu. ....	8
------------------------	---

a. Đọc tín hiệu cảm biến.....	8
-------------------------------	---

b. Xử lý logic đếm người. ....	8
--------------------------------	---

c. Hiển thị và giám sát dữ liệu. ....	9
---------------------------------------	---

5. Thử nghiệm và đánh giá. ....	10
---------------------------------	----

a. Kịch bản thử nghiệm. ....	10
------------------------------	----

b. Ưu điểm và hạn chế.....	12
----------------------------	----

<b>III.kết luận. ....</b>	<b>12</b>
---------------------------	-----------

<b>IV.Tài liệu tham khảo.</b>	
-------------------------------	--

## **I. Phần mở đầu.**

- Trong thời đại số hóa, công nghệ Internet of Things (IoT) đã tạo ra bước đột phá trong cách kết nối và quản lý các thiết bị, giúp chuyển đổi các hệ thống truyền thống thành những hệ thống thông minh, hiệu quả và tự động hóa. IoT không chỉ dừng lại ở việc liên kết các công cụ cá nhân mà còn được ứng dụng sâu rộng trong quản lý không gian, giám sát an ninh và tối ưu hóa hoạt động kinh doanh. Trong bối cảnh đó, việc phát triển một hệ thống cảm biến đếm người nhằm theo dõi lưu lượng ra vào ở các không gian nhỏ trở nên vô cùng thiết thực và cần thiết.

- Đề tài "Cảm biến đếm người trong không gian nhỏ với ESP32" hướng tới mục tiêu xây dựng và triển khai một hệ thống dựa trên bộ vi xử lý ESP32, tích hợp cảm biến hồng ngoại để nhận diện và đếm lượt ra vào của người. Hệ thống không chỉ hiển thị số liệu đếm theo thời gian thực trên màn hình mà còn kết nối với ứng dụng Blynk, giúp người dùng điều khiển và giám sát từ xa thông qua thiết bị di động. Qua đó, đề tài nhằm mang đến một giải pháp đơn giản, chi phí thấp nhưng có khả năng mở rộng và ứng dụng cao trong nhiều lĩnh vực như quản lý cửa hàng, phòng chờ, các sự kiện quy mô nhỏ hay các không gian làm việc hiện đại.

- Bên cạnh việc đảm bảo tính chính xác trong quá trình đếm người, nghiên cứu còn hướng đến việc phân tích các thách thức kỹ thuật như nhiễu tín hiệu, lỗi đếm và cách khắc phục qua việc tối ưu thuật toán xử lý tín hiệu. Đồng thời, việc tích hợp điều khiển qua ứng dụng Blynk cũng mở ra cơ hội nghiên cứu về giao diện người dùng và cải tiến tiện ích điều khiển từ xa, góp phần thúc đẩy ứng dụng IoT vào thực tiễn. Qua đây, đề tài không chỉ mang tính ứng dụng cao mà còn là minh chứng cho sự sáng tạo trong việc kết hợp phần cứng, phần mềm và công nghệ kết nối không dây nhằm giải quyết các bài toán quản lý không gian trong đời sống hàng ngày.

- Phần tiếp theo của tiểu luận sẽ trình bày chi tiết về cấu trúc hệ thống, nguyên lý hoạt động của cảm biến, quá trình triển khai, cũng như đánh giá hiệu quả thực tế mà hệ thống mang lại.

## II. Phần nội dung.

### 1. Gợi thiệu vấn đề.

- Trong nhiều môi trường như văn phòng, lớp học, các cửa hàng nhỏ,... việc biết được số lượng người hiện diện trong không gian là một nhu cầu thực tế và ngày càng phổ biến. Việc này không chỉ phục vụ cho mục đích giám sát và quản lý mà còn hỗ trợ nâng cao an toàn, tối ưu hóa sử dụng điện năng (ví dụ như tự động bật/tắt đèn, điều hòa khi có hoặc không có người), và đặc biệt là giúp điều tiết lưu lượng người trong các khu vực có không gian giới hạn.

- Tuy nhiên, việc đếm người ra/vào một cách chính xác không phải là điều đơn giản, đặc biệt khi số lượng người di chuyển nhiều, đi gần nhau hoặc ra/vào liên tục trong thời gian ngắn. Những giải pháp hiện tại như sử dụng camera, cảm biến siêu âm hay cảm biến áp suất tuy có hiệu quả nhất định nhưng lại có nhược điểm như chi phí cao, cài đặt phức tạp, hoặc độ chính xác có thể không ổn định trong một số tình huống thực tế.

- Vì vậy, tôi muốn đề xuất giải pháp đếm người sử dụng cảm biến hồng ngoại kết hợp với ESP32, một vi điều khiển có tích hợp Wifi, để xây dựng một hệ thống có thể:

- Đếm chính xác số lượt người ra vào không gian.
- Phân biệt hướng di chuyển (ra hay vào) nhờ bố trí hai cảm biến tại cửa.
- Hiện thị số người hiện tại trong không gian lên màn hình LCD hoặc OLED.
- Kết nối Internet và giám sát từ xa qua ứng dụng Blynk trên điện thoại.

- Hệ thống này hướng đến việc đáp ứng các yêu cầu sau:

- Tính chính xác trong việc xác định lượt ra và vào.
- Tính ổn định và phản hồi thời gian thực.
- Chi phí thấp, linh kiện phổ biến, dễ thay thế và triển khai.
- Khả năng mở rộng, ví dụ như tích hợp thêm các chức năng điều khiển thiết bị dựa trên số người (đèn, quạt, cảnh báo...).

- Qua đó, bài toán không chỉ dừng lại ở đếm người đơn thuần, mà còn đặt ra mục tiêu xây dựng một giải pháp IOT, có thể ứng dụng rộng rãi trong các tình huống thực tế và phù hợp với các nhu cầu của các không gian nhỏ hiện nay.

## **2. Giải pháp đề xuất.**

### **a. Tổng quan về hệ thống**

- Hệ thống đếm người được đề xuất dựa trên nền tảng vi điều khiển ESP32, kết hợp với hai cảm biến hồng ngoại PIR đặt song song tại cửa ra vào để xác định hướng di chuyển của người. Khi một người di chuyển qua cửa, thứ tự kích hoạt của hai cảm biến sẽ giúp hệ thống nhận biết được họ đang đi vào hay ra, từ đó tăng hoặc giảm bộ đếm tương ứng.

- **Hiện thị dữ liệu và giám sát từ xa:**
  - Dữ liệu đếm sẽ được hiển thị trực tiếp trên màn hình OLED để người quản lý có thể theo dõi ngay tại chỗ.
  - Ngoài ra, hệ thống còn tích hợp với nền tảng Blynk – một ứng dụng IoT phổ biến giúp kết nối ESP32 với điện thoại thông qua Wi-Fi – nhằm hỗ trợ người dùng theo dõi từ xa. Blynk cho phép hiển thị số liệu đếm theo thời gian thực, và bạn có thể thêm các chức năng điều khiển như reset bộ đếm, cảnh báo khi vượt quá giới hạn số người cho phép, v.v.

- Giải pháp này hướng đến mô hình nhẹ, linh hoạt, chi phí thấp nhưng hiệu quả cao, phù hợp với các không gian nhỏ như cửa hàng mini, phòng chờ, văn phòng nhỏ,...

### **b. Nguyên lý hoạt động**

- Để có thể xác định hướng di chuyển, hệ thống áp dụng phương pháp hai điểm với hai cảm biến hồng ngoại PIR (gọi là cảm biến A và cảm biến B) được bố trí tại lối ra vào với một khoảng cách nhỏ.

- Nguyên lý hoạt động như sau:

- Nếu cảm biến A bị kích hoạt trước, sau đó đến cảm biến B trong một khoảng thời gian ngắn → hệ thống xác định là một người đang đi vào.
- Ngược lại, nếu cảm biến B phát hiện trước, rồi đến cảm biến A → hệ thống xác định là một người đang đi ra.

- Sơ đồ mô tả luồng tín hiệu:

- Người đi vào:  $A \rightarrow B \rightarrow +1$  người.
- Người đi ra:  $B \rightarrow A \rightarrow -1$  người.
- Để tránh nhiễu và đếm sai trong các trường hợp phức tạp như:
  - Người đứng giữa cửa quá lâu,
  - Nhiều người đi liền nhau hoặc quay đầu,

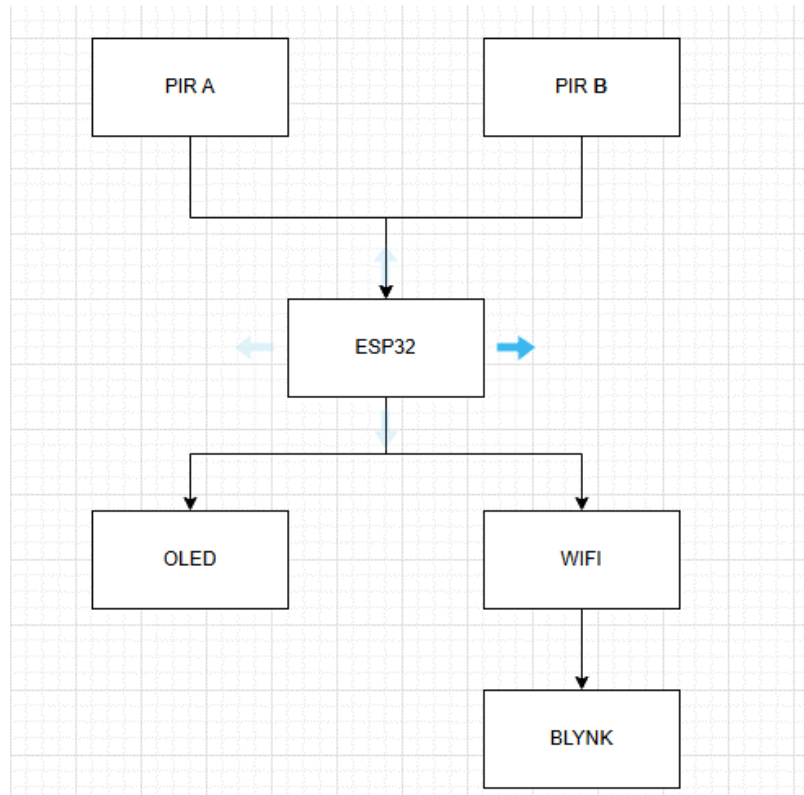
- hệ thống được lập trình để chỉ ghi nhận một lần đếm duy nhất sau khi hoàn tất cả hai tín hiệu A và B theo đúng thứ tự. Đồng thời, sẽ sử dụng các biến trạng thái và giới hạn thời gian giữa các tín hiệu của hai cảm biến để đảm bảo độ chính xác cao nhất.

### 3. Thiết kế hệ thống.

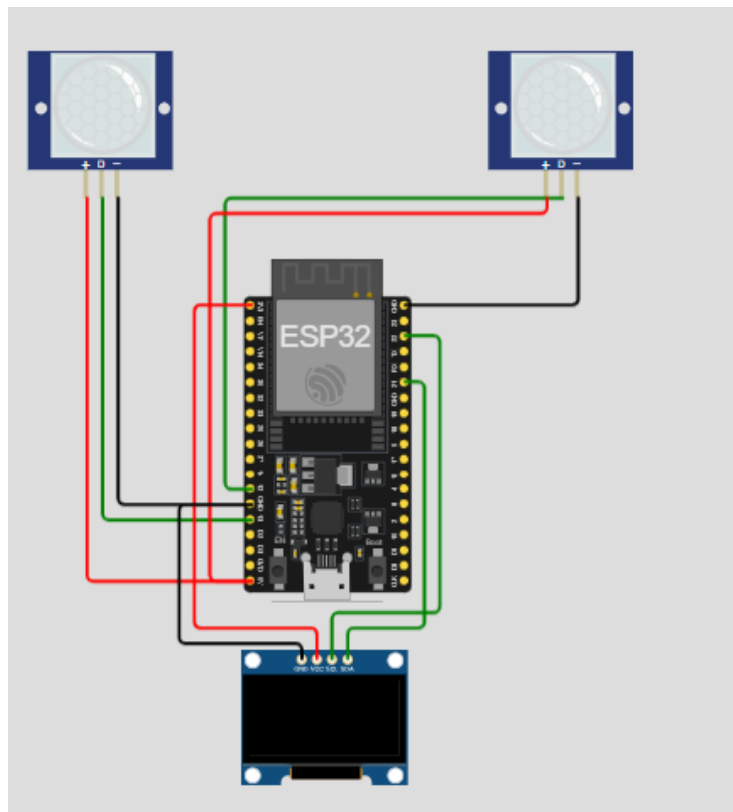
-Hệ thống được thiết kế với các thành phần chính sau:

- **ESP32:** Vi điều khiển trung tâm có tích hợp Wi-Fi, thực hiện đọc tín hiệu cảm biến, xử lý logic đếm người, cập nhật số lượng lên màn hình và gửi dữ liệu đến ứng dụng Blynk.
- **Cảm biến PIR A và PIR B:** Được gắn cố định hai bên cửa, giúp xác định hướng di chuyển của người.
- **Màn hình OLED :** Hiển thị số lượng người hiện có trong không gian theo thời gian thực.
- **Ứng dụng Blynk:** Giao diện người dùng điều khiển và giám sát số lượng người từ xa qua mạng Wi-Fi.

- Sơ đồ khối của hệ thống:



a) Thiết kế hệ thống wokwi.





- Hệ thống đếm người sử dụng ESP32 làm vi điều khiển trung tâm, nhận dữ liệu từ hai cảm biến PIR và hiển thị kết quả lên màn hình OLED. Khi một người đi vào hoặc đi ra, cảm biến PIR sẽ phát hiện chuyển động và gửi tín hiệu đến ESP32 để xử lý.

- Hệ thống được mô phỏng trên nền tảng Wokwi bao gồm:

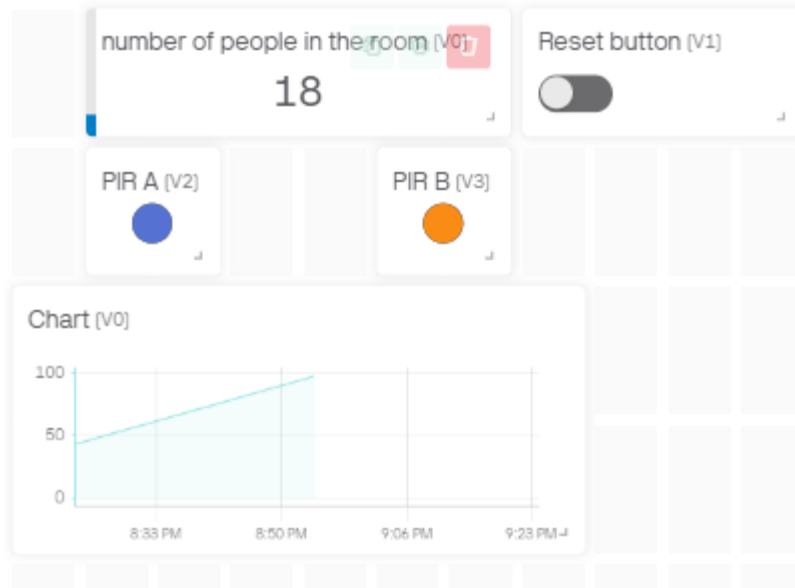
- **ESP32 DevKit v4** làm vi điều khiển trung tâm.
- **Hai cảm biến PIR** gắn vào chân:
  - PIR A: Chân OUT nối vào esp:13, chân GND được nối với GND.1.
  - PIR B: Chân OUT nối vào esp:12, chân GND được nối với GND.2.
  - VCC của cả hai PIR được cấp từ chân esp:5V của ESP32.
- **Màn hình OLED** giao tiếp qua I2C:
  - SDA nối vào esp:21, SCL nối vào esp:22.
  - VCC nối vào chân 3V3, GND nối vào GND.1.

Sơ đồ mô phỏng giúp kiểm tra tín hiệu cảm biến và hiển thị đếm người theo thời gian thực, đảm bảo hệ thống hoạt động chính xác trước khi triển khai ngoài thực tế.

#### **b. Thiết kế giao diện và tích hợp Blynk.**

- Để hỗ trợ việc theo dõi từ xa và điều khiển hệ thống, nền tảng Blynk được sử dụng. Đây là một ứng dụng IoT giúp kết nối các thiết bị như ESP32 với điện thoại qua Internet. Giao diện người dùng được thiết kế đơn giản, dễ theo dõi và bao gồm các thành phần chính sau:

- Giao diện Blynk:



- Các thành phần có trong Blynk:

- Label Display: Hiển thị số người hiện tại trong phòng.
- Switch: Cho phép người dùng đặt lại bộ đếm.
- LED A: Hiển thị trạng thái hoạt động của cảm biến A (đèn sẽ sáng lên khi phát hiện chuyển động).
- LED B: Hiển thị trạng thái hoạt động của cảm biến B.
- Chart Widget: Theo dõi lịch sử số lượng người ra vào theo thời gian.

- Nguyên lý hoạt động:

- Khi ESP32 xử lý xong một lần đếm người, dữ liệu được gửi lên server của Blynk theo các virtual pin tương ứng.
- Ứng dụng Blynk trên điện thoại sẽ nhận dữ liệu và cập nhật trạng thái ngay lập tức.
- Người dùng có thể quan sát trạng thái cảm biến (PIR A, PIR B), theo dõi biểu đồ thay đổi số lượng người trong ngày, hoặc khởi động lại bộ đếm khi cần thiết bằng nút reset.

- Việc tích hợp Blynk không chỉ mang lại sự **tiện lợi và linh hoạt** trong giám sát hệ thống mà còn giúp nâng cao **tính tương tác và khả năng mở rộng** của giải pháp đếm người này.

#### 4. Xử lý dữ liệu.

##### a. Đọc tín hiệu cảm biến.

- Trong hệ thống, vi điều khiển **ESP32** được lập trình để đọc tín hiệu từ hai cảm biến PIR (gọi là **Cảm biến A** và **Cảm biến B**). Quá trình đọc tín hiệu bao gồm:

- **Kết nối chân tín hiệu:**
  - Cảm biến A được nối vào một chân digital.
  - Cảm biến B được nối vào một chân digital khác.
- **Kiểm tra mức tín hiệu:**
  - Mỗi cảm biến có 2 trạng thái cơ bản:
    - **HIGH** (kích hoạt) khi phát hiện chuyển động.
    - **LOW** (không kích hoạt) khi không có chuyển động.
- **Phát hiện thứ tự tín hiệu:**
  - ESP32 liên tục thực hiện quét tín hiệu từ cả hai cảm biến theo chu kỳ rất ngắn (ví dụ 10-20ms).
  - Mục tiêu là xác định **thứ tự kích hoạt** của cảm biến A và cảm biến B:
    - Nếu cảm biến A nhận HIGH trước, sau đó cảm biến B chuyển sang HIGH trong khoảng thời gian xác định → hệ thống xem đây là luồng “A → B”.
    - Ngược lại, nếu cảm biến B kích hoạt trước rồi cảm biến A → hệ thống xem đây là luồng “B → A”.

##### b. Xử lý logic đếm số người.

- Sau khi thu thập được thứ tự tín hiệu từ cảm biến, hệ thống sẽ xử lý logic đếm người dựa trên thuật toán sau:

- **Thuật toán tổng quát:**
  - Nếu thứ tự là A → B:

- Hệ thống tăng bộ đếm người lên 1 (nghĩa là có một người đi vào).
- **Nếu thứ tự là  $B \rightarrow A$ :**
  - Hệ thống giảm bộ đếm người đi 1 (nghĩa là có một người đi ra).

**- Xử lý ngoại lệ:**

+ Để tránh đếm sai trong các trường hợp như:

- Người đứng quá lâu giữa hai cảm biến.
- Nhiều người đi liên nhau hoặc quay đầu giữa chừng.

+ Các biến trạng thái và giới hạn thời gian sẽ được điều chỉnh cho phù hợp, đồng thời hệ thống chỉ ghi nhận một sự kiện duy nhất khi cả hai cảm biến hoàn thành chu trình kích hoạt theo đúng thứ tự.

**c. Hiển thị và giám sát dữ liệu.**

- Sau khi xử lý tín hiệu và cập nhật biến đếm, dữ liệu kết quả được hiển thị và giám sát qua 2 giao diện chính:

- **Hiển thị trực tiếp trên màn hình OLED:**

- Sử dụng giao tiếp I2C để kết nối màn hình OLED với ESP32.
- Số lượng người hiện có trong không gian sẽ được cập nhật liên tục lên màn hình, giúp người quản lý tại chỗ theo dõi ngay lập tức.
- Hiển thị này giúp trực quan hóa số liệu đếm ngay sau khi hệ thống xử lý xong tín hiệu.

- **Gửi dữ liệu lên ứng dụng Blynk:**

- **Value Display Widget (Virtual Pin V0):**

Sử dụng lệnh `Blynk.virtualWrite(V0, count)` để gửi số lượng người mỗi khi có sự thay đổi. Widget này hiển thị số liệu theo thời gian thực.

- **Switch Widget (Reset – Virtual Pin V1):**

Cung cấp chức năng reset số lượng người: Khi nhấn nút trên ứng dụng, lệnh reset sẽ được gửi về ESP32 để đặt lại biến đếm về 0.

- **Chart Widget:**

Để theo dõi lịch sử số người ra/vào, hệ thống có thể gửi dữ liệu liên tục

hoặc theo khoảng thời gian nhất định lên Chart Widget. Điều này cho phép người dùng phân tích xu hướng lưu lượng ra vào trong suốt một khoảng thời gian.

- **Các Widget khác (ví dụ: LED Indicator, ...):**

Có thể hiển thị trạng thái của các cảm biến PIR, giúp xác minh xem cảm biến nào đang hoạt động tại thời điểm nhận dữ liệu. Điều này hỗ trợ gỡ lỗi và đánh giá hệ thống.

- Mỗi khi giá trị biến đếm (count) được thay đổi, dữ liệu được đồng bộ qua kết nối Wi-Fi với nền tảng Blynk, đảm bảo rằng giao diện từ xa trên thiết bị di động luôn cập nhật theo dữ liệu thời gian thực, đồng thời người dùng có thể thực hiện thao tác điều khiển như reset hay nhận cảnh báo khi số người vượt quá giới hạn định sẵn.

## **5. Thử nghiệm và đánh giá.**

### **a. Kịch bản thử nghiệm.**

- Sau khi hoàn thành việc lập trình và mô phỏng hệ thống trên nền tảng Wokwi, ta tiến hành thử nghiệm qua các kịch bản thực tế nhằm kiểm tra độ chính xác và tính ổn định của hệ thống.

### **Các tình huống thử nghiệm cụ thể:**

- **Tình huống 1: Một người đi vào**

- Cảm biến A phát hiện trước, sau đó đến cảm biến B.
- Hệ thống tăng biến đếm lên 1.
- Kết quả: hiển thị đúng số người trên màn hình OLED và ứng dụng Blynk.

- **Tình huống 2: Một người đi ra**

- Cảm biến B phát hiện trước, sau đó đến cảm biến A.
- Hệ thống giảm biến đếm xuống 1.

- Kết quả: biến đếm cập nhật chính xác, đồng bộ cả hai giao diện.
- **Tình huống 3: Nhiều người cùng đi vào**
  - Hai người đi liên tiếp, thời gian giữa hai lượt nhỏ.
  - Hệ thống có thể ghi nhận đúng nếu có đủ độ trễ giữa các lượt.
  - Tuy nhiên, khi đi quá sát nhau, cảm biến khó phân biệt và có thể bỏ sót hoặc đếm nhầm.
  - Kết quả: số liệu có thể sai lệch nếu không giữ khoảng cách.
- **Tình huống 4: Dừng giữa cửa**
  - Một người đi vào, dừng lại ở giữa hai cảm biến.
  - Hệ thống không cập nhật đếm nếu không đủ điều kiện về thứ tự tín hiệu và thời gian.
  - Đây là tính năng hạn chế sai số do nhận nhầm chuyển động không hoàn chỉnh.
  - Kết quả: hệ thống giữ ổn định và không tăng/giảm sai.

#### **Dữ liệu thu thập:**

- Dữ liệu biến đếm được hiển thị rõ ràng trên cả **màn hình OLED** và **ứng dụng Blynk**.
- Biểu đồ trong Blynk ghi lại lịch sử số người ra vào, hỗ trợ kiểm tra và phân tích quá trình thử nghiệm.
- Các thử nghiệm mô phỏng chứng minh hệ thống hoạt động tốt trong điều kiện lý tưởng, nhưng có thể gặp khó khăn trong môi trường phức tạp.

## **b. Ưu điểm và hạn chế.**

### **- Ưu điểm:**

- Dễ lắp đặt: Hệ thống sử dụng ít linh kiện, dễ triển khai tại các không gian nhỏ như phòng họp, phòng học, thư viện.
- Chi phí thấp: Các thành phần như ESP32, cảm biến PIR và màn hình OLED đều có giá thành rẻ, phù hợp cho dự án hoặc ứng dụng thực tế quy mô nhỏ.
- Hoạt động ổn định: Trong điều kiện môi trường lý tưởng và ánh sáng ổn định, hệ thống cho kết quả chính xác, nhất quán.
- Tính năng giám sát từ xa: Nhờ ứng dụng Blynk, người dùng có thể theo dõi tình trạng phòng từ xa qua Wi-Fi, nâng cao khả năng quản lý.

### **- Hạn chế:**

- Sai số khi nhiều người đi sát nhau: Hệ thống khó phân biệt được từng cá nhân nếu có nhiều người đi gần nhau liên tục, do cảm biến PIR chỉ phát hiện chuyển động nhưng không nhận diện được đối tượng cụ thể.
- Nhạy cảm với nhiễu IR: Ánh sáng mặt trời, nhiệt độ môi trường cao hoặc vật thể phát nhiệt gần cảm biến có thể gây nhiễu, ảnh hưởng đến độ chính xác.

## **III. Kết luận.**

- Dự án “Hệ thống đếm người ra vào sử dụng ESP32” đã hoàn thành các mục tiêu đặt ra ban đầu. ta đã thiết kế thành công một mô hình đơn giản nhưng hiệu quả, sử dụng hai cảm biến hồng ngoại PIR để xác định chiều di chuyển của người và từ đó tính toán số lượng người có mặt trong không gian nhỏ như phòng học hoặc văn phòng. Hệ thống có thể hiển thị kết quả tức thời trên màn hình OLED và đồng bộ dữ liệu với ứng dụng Blynk, giúp người dùng theo dõi từ xa một cách thuận tiện.

- Thông qua quá trình triển khai, ta không chỉ nắm vững kiến thức về lập trình vi điều khiển ESP32, giao tiếp giữa các thiết bị phần cứng mà còn hiểu rõ hơn về cách tích hợp phần mềm giám sát trong các giải pháp IoT.

- Tuy nhiên, hệ thống vẫn còn một số điểm có thể cải thiện, như khả năng xử lý khi nhiều người đi cùng lúc, hoặc độ chính xác trong môi trường có nhiễu. Từ đó, có một số đề xuất định hướng phát triển trong tương lai:

- **Tăng độ chính xác** bằng cách bổ sung cảm biến khác (siêu âm, hồng ngoại đo khoảng cách) hoặc tích hợp camera AI.
- **Xây dựng nền tảng quản lý chuyên biệt**, thay thế Blynk bằng một ứng dụng tùy chỉnh có khả năng thống kê, lưu trữ và hiển thị dữ liệu trực quan hơn.
- **Tự động điều khiển thiết bị** trong phòng như đèn, điều hòa theo số lượng người nhằm tiết kiệm điện năng.
- **Lưu trữ và phân tích dữ liệu lịch sử**, từ đó có thể áp dụng vào các mô hình phân tích hành vi, tối ưu sử dụng không gian.
- **Cải thiện bảo mật và khả năng mở rộng** để đáp ứng yêu cầu triển khai trong môi trường thực tế với quy mô lớn hơn.

- Dự án là bước khởi đầu tốt để có thể tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về các giải pháp giám sát thông minh, đồng thời là nền tảng để phát triển các ứng dụng IoT hữu ích trong đời sống.



#### **IV. Tài liệu tham khảo.**

- Espressif Systems. (2023). *ESP32 Technical Reference Manual*. [Online]. Available at: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>
- Adafruit Industries. (n.d.). *PIR (Passive Infrared) Sensor Tutorial*. [Online]. Available at: <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor>
- Blynk IoT Platform. (n.d.). *Blynk Documentation – Getting Started*. [Online]. Available at: <https://docs.blynk.io/en>
- Wokwi. (n.d.). *Wokwi Simulator Documentation*. [Online]. Available at: <https://docs.wokwi.com>