

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



**CẢM BIẾN ĐỀM NGƯỜI TRONG KHÔNG GIAN
NHỎ VỚI ESP32**

TÊN LỚP HỌC PHẦN: PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG IOT

MÃ HỌC PHẦN: 2024-2025.2.TIN4024.005

Giảng viên hướng dẫn : VÕ VIỆT DŨNG

Huế-2025

MỤC LỤC:

| | |
|--|---|
| CHƯƠNG 1:..... | 2 |
| 1.Mở đầu | 1 |
| 1.2Lý do chọn đề tài: | 1 |
| 1.3Mục tiêu nghiên cứu: | 2 |
| 1.4Phạm vi nghiên cứu: | 3 |
| CHƯƠNG 2:..... | 4 |
| 2. Nội dung | 4 |
| 2.1. Tổng quan về hệ thống đếm người | 4 |
| Nguyên lý chung của hệ thống đếm người | 4 |
| 2.2. Kiến thức cơ bản về cảm biến hồng ngoại (IR Sensor) | 5 |
| 2.3. Nguyên lý đếm người bằng cảm biến IR | 5 |
| 3. Vi điều khiển ESP32 | 6 |
| 3.1. Tổng quan | 6 |
| 3.2. Vai trò của ESP32 trong hệ thống | 7 |
| 3.3 Hệ sinh thái phần mềm | 7 |
| 3.4 Ứng dụng thực tiễn | 8 |
| 3.5 Ưu điểm và nhược điểm | 8 |
| 4. Màn hình hiển thị | 8 |
| 4.1. OLED (Organic LED) 0.96 inch – SSD1306 | 8 |
| 4.2. LCD 1602/2004 | 9 |
| 5. Ứng dụng thực tiễn của hệ thống đếm người | 9 |
| 5.1. Trong đời sống hàng ngày | 9 |
| 5.2. Trong doanh nghiệp và giáo dục | 9 |
| 5.3. Trong thương mại, kinh doanh | 9 |

| | |
|--|-----------|
| 6. Mô hình hệ thống đếm người dùng ESP32 và IR: | 9 |
| 6.1. Cấu trúc phần cứng của hệ thống..... | 9 |
| 6.2. Sơ đồ khối của hệ thống | 10 |
| 6.3 Nguyên lý hoạt động:..... | 10 |
| 6.4. Sơ đồ thời gian hoạt động của cảm biến IR..... | 11 |
| 6.5 Ưu điểm của mô hình: | 11 |
| 7. Những vấn đề thường gặp và giải pháp | 11 |
| 8. Mô phỏng cảm biến đếm người trong không gian nhỏ với ESP32 | 12 |
| CHƯƠNG 3 | 14 |
| KẾT LUẬN | 14 |

CHƯƠNG 1:

1. Mở đầu

1.1 Giới thiệu đề tài:

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư đang diễn ra mạnh mẽ trên toàn cầu, công nghệ số và tự động hóa đã và đang len lỏi vào từng ngóc ngách của đời sống con người. Những tiến bộ vượt bậc trong lĩnh vực vi điện tử, hệ thống nhúng và Internet vạn vật (IoT) đã mở ra nhiều cơ hội mới cho việc tối ưu hóa các hoạt động quản lý, vận hành và giám sát trong các không gian công cộng cũng như cá nhân.

Một trong những ứng dụng thực tiễn và có ý nghĩa đặc biệt trong xu thế này chính là hệ thống đếm người tự động – công cụ hỗ trợ hữu ích trong việc kiểm soát số lượng người ra vào trong những khu vực có không gian giới hạn, như phòng họp, lớp học, thư viện, phòng trưng bày, hay thậm chí là nhà vệ sinh công cộng. Những hệ thống này không chỉ giúp đảm bảo an toàn, tránh tình trạng quá tải mà còn hỗ trợ hiệu quả trong công tác quản lý năng lượng, phòng chống cháy nổ và ứng phó dịch bệnh.

Song song với đó, sự xuất hiện của vi điều khiển ESP32 – một thiết bị nhỏ gọn, chi phí thấp nhưng tích hợp đầy đủ các tính năng mạnh mẽ như kết nối Wi-Fi, Bluetooth và khả năng xử lý tín hiệu thời gian thực – đã trở thành một lựa chọn lý tưởng cho việc phát triển các mô hình ứng dụng thông minh, trong đó có hệ thống đếm người.

Xuất phát từ thực tiễn nói trên, đề tài “Cảm biến đếm người trong không gian nhỏ với ESP32” không chỉ là một nghiên cứu mang tính học thuật mà còn mang ý nghĩa ứng dụng cao, hướng đến việc thiết kế một giải pháp đơn giản, hiệu quả và dễ triển khai trong đời sống thường nhật.

1.2 Lý do chọn đề tài:

Trong bối cảnh sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin và tự động hóa, con người đang ngày càng sống trong một thế giới nơi mà mọi thứ có thể được giám sát và điều khiển từ xa. Các hệ thống thông minh, đặc biệt là trong các ứng dụng IoT (Internet

of Things), đang trở thành một phần không thể thiếu trong đời sống hàng ngày, từ việc quản lý giao thông, an ninh cho đến việc điều phối năng lượng trong các tòa nhà và khu công nghiệp.

Một trong những vấn đề nổi bật hiện nay là quản lý và kiểm soát số lượng người trong các không gian hạn chế, như phòng học, phòng họp, khu vực chờ hoặc nhà vệ sinh công cộng. Việc duy trì một môi trường an toàn, thoải mái và hợp lý cho người sử dụng luôn là một bài toán không dễ dàng. Thực tế, với sự gia tăng dân số và mật độ cư trú ở các khu đô thị lớn, việc tối ưu hóa sử dụng không gian và quản lý sự hiện diện của con người trở thành một thách thức không thể bỏ qua.

Trong bối cảnh này, hệ thống cảm biến đếm người là một giải pháp hữu ích, vừa giúp giám sát số lượng người ra vào, vừa góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng không gian và năng lượng. Tuy nhiên, phần lớn các hệ thống hiện tại vẫn còn gặp phải nhiều vấn đề như chi phí cao, yêu cầu cấu hình phức tạp, hoặc thiếu tính linh hoạt trong việc triển khai. Chính vì vậy, việc nghiên cứu và phát triển một hệ thống đếm người đơn giản, chi phí thấp, dễ dàng ứng dụng trong không gian nhỏ là một vấn đề cần thiết, vừa có ý nghĩa về mặt lý thuyết, vừa có tính ứng dụng cao trong thực tiễn.

Với những đặc điểm vượt trội về khả năng kết nối và xử lý tín hiệu, ESP32 nổi lên như một lựa chọn hoàn hảo cho việc phát triển hệ thống đếm người trong không gian nhỏ. Việc áp dụng ESP32 cùng với các cảm biến hồng ngoại IR tạo ra một giải pháp không chỉ tiết kiệm chi phí mà còn dễ dàng triển khai, bảo trì và mở rộng trong tương lai. Đề tài này được chọn không chỉ vì tính mới mẻ và tiềm năng ứng dụng của công nghệ mà còn vì sự phù hợp của nó trong việc giải quyết những vấn đề thực tiễn hiện nay.

1.3 Mục tiêu nghiên cứu:

Đề tài tập trung vào việc nghiên cứu và thử nghiệm hệ thống đếm người trong các không gian nhỏ có lưu lượng người vừa phải như phòng học, văn phòng, hoặc cửa hàng nhỏ. Các nội dung trong phạm vi nghiên cứu bao gồm:

- Nghiên cứu về cảm biến hồng ngoại (IR và PIR).

- Nghiên cứu vi điều khiển ESP32 và cách lập trình điều khiển.
- Thiết kế hệ thống đếm người gồm cảm biến, vi điều khiển, màn hình hiển thị.
- Viết chương trình xử lý tín hiệu và hiển thị kết quả.
- Kiểm thử hệ thống trong môi trường mô phỏng.

1.4 Phạm vi nghiên cứu:

Đề tài tập trung vào:

- Cảm biến hồng ngoại dạng “break beam” (ngắt tia) hoặc “proximity” (gần – phản xạ).
- Sử dụng vi điều khiển ESP32 làm bộ xử lý trung tâm.
- Hiển thị kết quả đếm người trên màn hình LCD hoặc OLED.
- Môi trường ứng dụng: không gian nhỏ, điều kiện ánh sáng trung bình, lưu lượng người vừa phải.
- Không đề cập đến các công nghệ cao cấp như camera AI, xử lý ảnh hay hệ thống đếm người quy mô lớn.

CHƯƠNG 2:

2. Nội dung

2.1. Tổng quan về hệ thống đếm người

Hệ thống đếm người là một ứng dụng phổ biến trong các hệ thống giám sát, quản lý không gian và tự động hóa, đặc biệt trong các môi trường có diện tích giới hạn như phòng họp nhỏ, nhà vệ sinh công cộng, thang máy, lớp học, v.v. Mục tiêu của hệ thống là xác định số lượng người ra vào một khu vực theo thời gian thực, từ đó phục vụ các mục đích như điều tiết không gian, tiết kiệm năng lượng, an toàn, và thống kê.

Những hệ thống này thường được tích hợp vào các khu vực như:

- Trung tâm thương mại
- Văn phòng, tòa nhà công sở
- Bãi đỗ xe
- Phòng học, thư viện, nhà vệ sinh công cộng
- Không gian nhỏ trong gia đình như phòng khách, phòng ngủ

Chức năng chính của hệ thống:

- Xác định chiều di chuyển (ra hay vào).
- Tính toán số người hiện có trong không gian.
- Hiển thị số lượng người hiện tại.
- (Tuỳ chọn) Kết nối với mạng để lưu trữ dữ liệu hoặc kích hoạt thiết bị (quạt, đèn...).

Nguyên lý chung của hệ thống đếm người

Hệ thống đếm người thường hoạt động dựa trên các cảm biến để phát hiện chuyển động hoặc sự hiện diện của con người. Nguyên lý cơ bản là:

- Khi một người đi vào khu vực giám sát, cảm biến phát hiện và tăng biến đếm lên một đơn vị.

- Khi một người đi ra, hệ thống sẽ giảm biến đếm xuống một đơn vị.

Để thực hiện điều này, hệ thống thường sử dụng hai cảm biến đặt cách nhau một khoảng nhỏ tại cửa ra/vào để xác định hướng di chuyển (vào hoặc ra). Dữ liệu từ cảm biến được vi xử lý bởi ESP32 và lưu trữ trong bộ đếm hoặc truyền về máy chủ để xử lý tiếp.

2.2. Kiến thức cơ bản về cảm biến hồng ngoại (IR Sensor)

Cảm biến hồng ngoại là một trong những loại cảm biến phổ biến nhất trong lĩnh vực điện tử nhúng. Có hai loại cảm biến hồng ngoại chính:

2.2.1. Cảm biến hồng ngoại chủ động (Active IR Sensor)

Gồm hai phần:

- Bộ phát (IR Emitter): thường là một LED phát tia hồng ngoại.
- Bộ thu (IR Receiver): thường là một photodiode hoặc phototransistor, hoạt động bằng cách nhận lại ánh sáng hồng ngoại từ emitter phản xạ từ vật thể.

Nguyên lý: Khi không có vật cản, tín hiệu IR đến được receiver. Khi có vật thể (người) đi qua, tia IR bị ngắt hoặc phản xạ thay đổi, gây ra thay đổi tín hiệu điện áp đầu ra. Đây chính là dấu hiệu để hệ thống xử lý.

2.2.2. Cảm biến hồng ngoại thụ động (Passive IR - PIR Sensor)

Không phát ra tia IR. Nó hoạt động bằng cách phát hiện sự thay đổi mức nhiệt hồng ngoại từ cơ thể người. Tuy có thể phát hiện chuyển động, nhưng không phù hợp để đếm người ra/vào, vì không thể xác định chiều di chuyển hoặc đếm chính xác nếu nhiều người đi cùng lúc.

2.3. Nguyên lý đếm người bằng cảm biến IR

Để xác định được hướng di chuyển, hệ thống cần sử dụng ít nhất hai cặp cảm biến hồng ngoại đặt song song theo trục ra/vào. Ta xét hai cảm biến: IR1 và IR2.

Trường hợp 1: Người đi vào

- IR1 bị ngắt trước \rightarrow IR2 bị ngắt sau
- Xác định hướng là "vào"
- Biến đếm tăng thêm 1

Trường hợp 2: Người đi ra

- IR2 bị ngắt trước \rightarrow IR1 bị ngắt sau
- Xác định hướng là "ra"
- Biến đếm giảm đi 1

Đây là một dạng xử lý logic theo thứ tự tín hiệu. Do vậy, hệ thống cần một bộ xử lý có tốc độ tốt, có thể phát hiện nhanh sự thay đổi và xử lý kịp thời logic.

3. Vi điều khiển ESP32

3.1. Tổng quan

ESP32 là một vi điều khiển tích hợp Wi-Fi và Bluetooth năng lượng thấp (BLE) do hãng Espressif Systems (Trung Quốc) phát triển. Đây là bản nâng cấp toàn diện của dòng ESP8266 nổi tiếng trước đó, với nhiều tính năng mạnh mẽ hơn, hiệu suất cao hơn và khả năng ứng dụng đa dạng trong các hệ thống nhúng và IoT (Internet of Things).

Thông số nổi bật:

- CPU: Sử dụng nhân xử lý Tensilica LX6 với hai lõi (dual-core), cho hiệu suất cao và khả năng xử lý đa nhiệm hiệu quả.
- Tốc độ xử lý: Có thể đạt đến 240 MHz, phù hợp với các ứng dụng thời gian thực và IoT.
- RAM: Được trang bị 520 KB SRAM, đủ để xử lý các tác vụ trung bình và truyền thông mạng.
- Bộ nhớ Flash: Thường có dung lượng từ 4 MB trở lên, hỗ trợ lưu trữ chương trình và dữ liệu.

- Wi-Fi: Tích hợp chuẩn IEEE 802.11 b/g/n, cho phép kết nối mạng không dây ổn định.
- Bluetooth: Hỗ trợ Bluetooth v4.2 và BLE (Bluetooth Low Energy), phù hợp cho các thiết bị tiêu thụ năng lượng thấp.
- GPIO: Có khoảng 34 chân vào/ra tổng hợp (General Purpose Input/Output), hỗ trợ nhiều chức năng như ADC (Analog to Digital Converter), PWM (Pulse Width Modulation), v.v.
- Giao tiếp ngoại vi: Hỗ trợ đa dạng các giao thức như UART, I2C, SPI, CAN,... giúp kết nối dễ dàng với nhiều loại cảm biến và module khác.

3.2. Vai trò của ESP32 trong hệ thống

ESP32 đóng vai trò là bộ điều khiển trung tâm (MCU) có nhiệm vụ:

- Nhận tín hiệu từ các cặp cảm biến hồng ngoại.
- Phân tích trình tự kích hoạt cảm biến để xác định hướng (vào hay ra).
- Cập nhật biến đếm người hiện tại.
- Hiển thị kết quả qua màn hình LCD/OLED hoặc truyền về hệ thống giám sát qua Wi-Fi.
- (Tùy chọn) Lưu trữ lịch sử hoặc cảnh báo khi quá tải số người cho phép.

Với khả năng kết nối Wi-Fi/Bluetooth và xử lý mạnh mẽ, ESP32 giúp hệ thống có thể mở rộng thành một phần của hệ thống IoT, hỗ trợ theo dõi từ xa và phân tích dữ liệu qua đám mây.

3.3 Hệ sinh thái phần mềm

ESP32 được hỗ trợ bởi ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) – một framework mã nguồn mở mạnh mẽ, cho phép phát triển ứng dụng nhúng chuyên nghiệp bằng C/C++. Ngoài ra, ESP32 còn tương thích với Arduino IDE – giúp người dùng mới dễ dàng tiếp cận và phát triển nhanh các ứng dụng mẫu.

Các hệ điều hành thời gian thực (RTOS) như FreeRTOS cũng được tích hợp và hỗ trợ tốt trên ESP32, cho phép lập trình đa luồng và xử lý song song hiệu quả.

3.4 Ứng dụng thực tiễn

Nhờ tính năng kết nối mạnh mẽ và chi phí thấp, ESP32 được ứng dụng rộng rãi trong:

- Các thiết bị nhà thông minh: công tắc thông minh, cảm biến môi trường, camera giám sát
- Hệ thống đo lường và thu thập dữ liệu từ xa
- Thiết bị đeo thông minh, điều khiển công nghiệp
- Các dự án học thuật, nghiên cứu và ứng dụng IoT

3.5 Ưu điểm và nhược điểm

Ưu điểm:

- Tích hợp Wi-Fi + Bluetooth trong một chip
- Giá thành rẻ, tiêu thụ điện năng thấp
- Cộng đồng hỗ trợ lớn, nhiều thư viện nguồn mở
- Đa năng, dễ mở rộng nhờ nhiều cổng giao tiếp

Nhược điểm:

- Yêu cầu cấu hình và lập trình phức tạp hơn so với các vi điều khiển đơn giản như Arduino UNO
- Một số vấn đề về tiêu thụ năng lượng khi sử dụng Wi-Fi liên tục

4. Màn hình hiển thị

Để người dùng có thể quan sát số lượng người ra vào, hệ thống sử dụng một màn hình nhỏ để hiển thị kết quả đếm.

4.1. OLED (Organic LED) 0.96 inch – SSD1306

- Giao tiếp I2C
- Độ phân giải: 128x64 pixel
- Tương thích tốt với ESP32

- Có thể hiển thị văn bản, hình ảnh đơn giản

4.2. LCD 1602/2004

- Sử dụng module I2C giúp tiết kiệm chân
- Chỉ hiển thị ký tự, không hiển thị đồ họa
- Phù hợp nếu chỉ hiển thị số lượng người và thông báo văn bản

5. Ứng dụng thực tiễn của hệ thống đếm người

5.1. Trong đời sống hàng ngày

- Tự động hóa ngôi nhà (Smart Home): kích hoạt đèn khi có người, tắt đèn khi không có ai.
- Hệ thống an ninh: phát hiện đột nhập ngoài giờ làm việc.
- Phòng tắm công cộng, nhà vệ sinh thông minh: giới hạn số lượng người sử dụng cùng lúc.

5.2. Trong doanh nghiệp và giáo dục

- Quản lý phòng họp, lớp học: giám sát lượng người tham gia.
- Thư viện, phòng lab: hỗ trợ quản lý lưu lượng người dùng.

5.3. Trong thương mại, kinh doanh

- Cửa hàng tiện lợi, quán café nhỏ: đo lường khách hàng để đưa ra quyết định về nhân lực, thời gian mở cửa.
- Marketing và phân tích hành vi người dùng: đánh giá hiệu quả quảng cáo tại các khu vực đặt bảng hiệu.

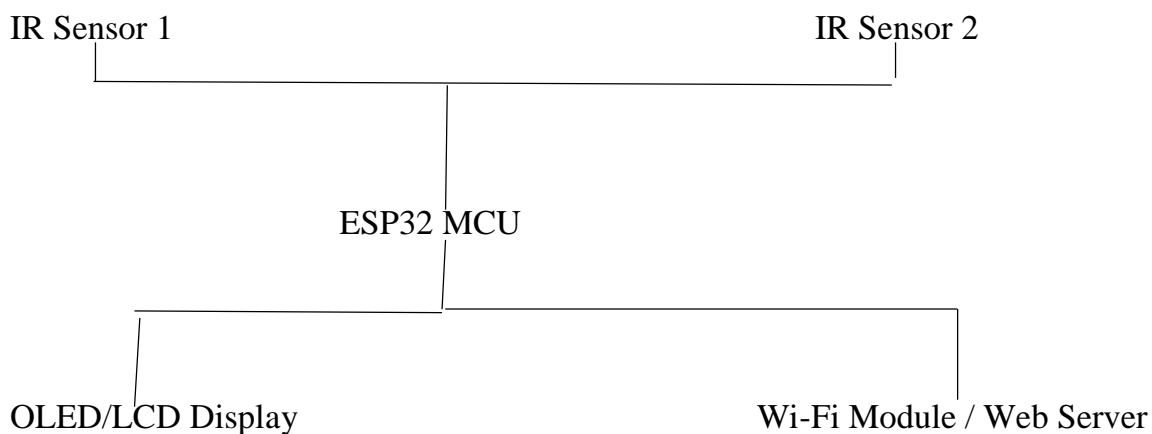
6. Mô hình hệ thống đếm người dùng ESP32 và IR:

6.1. Cấu trúc phần cứng của hệ thống

Hệ thống đếm người sử dụng ESP32 kết hợp với hai cảm biến hồng ngoại IR được bố trí tại cửa ra vào. Các thành phần chính bao gồm:

- ESP32: Vi điều khiển trung tâm, nhận và xử lý tín hiệu từ cảm biến IR.
- Hai cặp cảm biến IR phát – thu: Đặt tại hai vị trí kế tiếp nhau (ví dụ: IR1 gần bên ngoài, IR2 gần bên trong cửa) để xác định hướng di chuyển (vào hay ra).
- Màn hình OLED (hoặc LCD): Dùng để hiển thị số lượng người hiện tại trong không gian.
- Nguồn điện: Có thể dùng pin Li-ion, pin sạc 5V hoặc nguồn adapter USB.
- (Tùy chọn) Module Wi-Fi hoặc truyền dữ liệu lên web server: Nếu muốn theo dõi số liệu từ xa.

6.2. Sơ đồ khối của hệ thống



6.3 Nguyên lý hoạt động:

- Trường hợp 1 – Người đi vào:
 - IR1 bị che trước → sau đó IR2 bị che.
 - Hệ thống xác định đây là hướng vào → tăng biến đếm lên +1.
- Trường hợp 2 – Người đi ra:
 - IR2 bị che trước → sau đó IR1 bị che.
 - Hệ thống xác định là hướng ra → giảm biến đếm xuống -1.

- ESP32 sẽ:
- Phân tích trình tự tín hiệu từ hai cảm biến.
- Cập nhật giá trị số người hiện tại.
- Hiển thị kết quả ra màn hình.
- (Tùy chọn) Gửi dữ liệu đến hệ thống giám sát từ xa qua Wi-Fi.

6.4. Sơ đồ thời gian hoạt động của cảm biến IR

| Thời gian | IR1 | IR2 | Sự kiện |
|-----------|-----|-----|--------------------|
| t0 | 0 | 0 | Không có ai |
| t1 | 1 | 0 | IR1 bị che |
| t2 | 1 | 1 | IR2 bị che |
| t3 | 0 | 1 | IR1 thoát che |
| t4 | 0 | 0 | IR2 thoát che |
| -> | | | ->Người đi vào(+1) |

6.5 Ưu điểm của mô hình:

- Đơn giản, giá rẻ: Chỉ cần dùng 2 cảm biến IR giá thấp.
- Hiệu quả trong không gian nhỏ: IR phản ứng nhanh, phù hợp với lối ra/vào hẹp.
- ESP32 mạnh mẽ, dễ mở rộng: Có thể dễ dàng thêm các tính năng như gửi dữ liệu, cảnh báo, thống kê.....

7. Những vấn đề thường gặp và giải pháp

Trong quá trình triển khai hệ thống đếm người sử dụng cảm biến hồng ngoại, có thể gặp phải một số tình huống gây ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đếm. Dưới đây là những vấn đề phổ biến cùng với nguyên nhân và giải pháp đề xuất:

- Đếm sai khi có hai người đi sát nhau:

Khi hai người đi quá gần nhau, cảm biến hồng ngoại có thể không phân biệt được hai tín hiệu riêng biệt, dẫn đến việc chỉ đếm được một người. Để khắc phục, hệ thống nên

áp dụng kỹ thuật tạo độ trễ hợp lý giữa các lần phát hiện, hoặc tốt hơn là sử dụng logic máy trạng thái hữu hạn (Finite-State Machine - FSM) để xử lý luồng di chuyển phức tạp.

- Nhiều ánh sáng từ môi trường:

Trong môi trường có ánh sáng mạnh hoặc có nguồn phát tia hồng ngoại khác (như ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp), cảm biến IR có thể bị nhiễu, dẫn đến phát hiện sai. Giải pháp là sử dụng cảm biến IR hoạt động ở tần số 38kHz – loại cảm biến này có thể lọc nhiễu tốt hơn nhờ nhận diện tín hiệu điều chế, đồng thời thiết kế thêm lớp che chắn vật lý để hạn chế ánh sáng môi trường.

- Người đứng giữa hai cặp cảm biến:

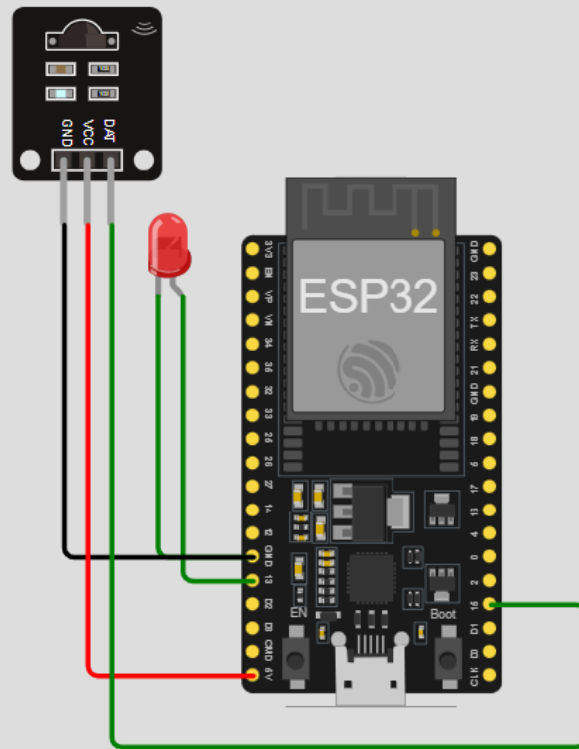
Trường hợp người dừng lại hoặc đứng quá lâu trong khu vực giữa hai cảm biến có thể khiến tín hiệu bị lệch, gây đếm sai. Giải pháp là bổ sung cơ chế timeout – nếu người dừng không hoàn tất hành trình qua cặp cảm biến trong một khoảng thời gian định sẵn, hệ thống sẽ hủy bỏ tín hiệu đang xử lý để chờ tín hiệu mới.

- Đi ngược chiều hoặc quay đầu:

Khi người dùng đi vào một nửa đoạn đường và quay lại theo hướng ngược lại, hệ thống có thể vẫn ghi nhận đây là một lượt ra vào, gây sai lệch biến đếm. Để xử lý tình huống này, hệ thống cần ghi nhớ trạng thái cảm biến và xác thực hành động di chuyển dựa vào sự kích hoạt tuần tự của cả hai cảm biến, không chỉ dựa vào một tín hiệu đơn lẻ.

8. Mô phỏng cảm biến đếm người trong không gian nhỏ với ESP32

Simulation



CHƯƠNG 3

KẾT LUẬN

Trong bối cảnh hiện nay, việc giám sát và kiểm soát mật độ người trong các không gian nhỏ như phòng học, thư viện, siêu thị mini, quán cà phê hay nhà vệ sinh công cộng trở nên ngày càng quan trọng. Hệ thống đếm người sử dụng vi điều khiển ESP32 kết hợp với cảm biến hồng ngoại IR là một giải pháp hiệu quả, chi phí thấp và dễ triển khai.

Thông qua quá trình nghiên cứu, có thể thấy rằng hệ thống hoạt động dựa trên nguyên lý phân tích trình tự kích hoạt của hai cảm biến IR, từ đó xác định hướng di chuyển của con người (vào hoặc ra) và tính toán số lượng người hiện tại trong không gian. Vi điều khiển ESP32 đóng vai trò trung tâm trong việc thu thập tín hiệu, xử lý logic và hiển thị dữ liệu.

Tuy nhiên, độ chính xác của hệ thống phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: tốc độ di chuyển của người, khoảng cách lắp đặt cảm biến, ánh sáng môi trường, thuật toán xử lý, và nhiễu tín hiệu. Với các biện pháp cải tiến phần cứng và tối ưu thuật toán, hệ thống hoàn toàn có thể đạt được độ chính xác cao trong thực tế sử dụng.

Tiềm năng mở rộng của hệ thống cũng rất lớn. Nhờ tích hợp Wi-Fi, ESP32 có thể gửi dữ liệu lên máy chủ hoặc nền tảng IoT để phục vụ các mục đích thống kê, giám sát từ xa hoặc cảnh báo quá tải. Điều này mở ra hướng ứng dụng mạnh mẽ trong quản lý thông minh, đặc biệt là trong các hệ thống tự động hóa tòa nhà, kiểm soát an toàn cháy nổ, và quản lý lưu lượng người trong thời đại số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]Espressif Systems. (2023). *ESP32 Technical Reference Manual*. Truy cập từ <https://www.espressif.com>
- [2] Kolban, N. (2017). *Kolban's Book on ESP32*.
- [3] Microcontrollers Lab. (n.d.). *Getting Started with ESP32*.
- [4] Random Nerd Tutorials. (2023). *ESP32 with IR Sensors and OLED Display*. Truy cập từ <https://randomnerdtutorials.com>
- [5] Random Nerd Tutorials. *People Counter with ESP32 and IR Sensors*. Truy cập từ <https://randomnerdtutorials.com>
- [6] Vishay Intertechnology. *IR Sensor Modules for Remote Control Systems*. Truy cập từ <https://www.vishay.com/docs/82491/tsop.pdf>
- [7] Tutorials Point. (n.d.). *IR Sensor – Working and Applications*.
- [8] SparkFun Electronics. *IR Sensor Basics – Learn about IR Sensors*.
- [9] Zhao, Y., & Cook, B. (2009). *People Counting System using Infrared Sensors. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*.
- [10] MakerAdvisor. *OLED Display with ESP32 Guide*. Truy cập từ <https://makeradvisor.com>
- [11] R. S. Sedha. (2008). *A Textbook of Applied Electronics*. Nhà xuất bản S. Chand Publishing.
- [12] Adafruit Learning System. *PIR Motion Sensor Tutorial*.