

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ**



BÁO CÁO ĐỀ TÀI

**THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỂM DANH
BẰNG VÂN TAY VÀ MẶT MÃ DỰA TRÊN ESP32**

Môn học: **Hệ thống nhúng**

Lớp học phần: **P01**

Học kỳ: **251**

Giảng viên phụ trách: **Bùi Quốc Bảo**

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, 2025

DANH SÁCH THÀNH VIÊN NHÓM

STT	Họ và tên	MSSV
1	Nguyễn Ngọc Bảo	2210257
2	Nguyễn Viết Phước Trí	2213655

Ghi chú: Các thành viên trong nhóm đã phối hợp làm việc theo nhóm, phân chia nhiệm vụ theo từng phần nội dung và cùng kiểm tra, hiệu chỉnh kết quả nhằm đảm bảo tính chính xác và thống nhất của báo cáo.

Lời cảm ơn

Lời đầu tiên, chúng em xin gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM đã đưa nội dung giảng dạy vào chương trình. Chúng em xin đặc biệt bày tỏ lòng biết ơn đến giảng viên, Bùi Quốc Bảo đã dày công tận tụy chỉ bảo cho chúng em, là cơ sở để chúng em có thể thực hiện được đề tài này. Sự hỗ trợ tận tình và những lời khuyên của thầy trong suốt quá trình chúng em hoàn thành đề tài. Do hạn chế về thời gian và kiến thức nên bài nghiên cứu này có thể không tránh khỏi những thiếu sót, rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của thầy cùng các giảng viên khác để chúng em có thêm kinh nghiệm quý báu và hoàn thiện bản thân.

Em cũng xin cảm ơn các bạn trong lớp đã hỗ trợ em trong công tác thử nghiệm hệ thống, cho mượn thiết bị, đóng góp ý kiến cũng như phản hồi thực tế trong quá trình kiểm thử. Mặc dù đã rất cố gắng, báo cáo khó tránh khỏi những thiếu sót, em kính mong nhận được thêm những ý kiến đóng góp của Thầy để có thể hoàn thiện hơn trong các đồ án và nghiên cứu sau này.

Tóm tắt

Đề tài “Thiết kế hệ thống điểm danh bằng vân tay và mật mã dựa trên ESP32” nhằm xây dựng một hệ thống nhúng có khả năng điểm danh sinh viên trong lớp học dựa trên xác thực sinh trắc học kết hợp mật mã hai lớp. Thay vì điểm danh thủ công hoặc dựa trên thẻ RFID dễ bị mượn, hệ thống sử dụng cảm biến vân tay AS608 để định danh sinh viên, kết hợp mật mã cá nhân nhập từ keypad 4x4 trước khi cho phép điểm danh.

Về phần cứng, hệ thống sử dụng vi điều khiển ESP32 làm trung tâm xử lý, kết hợp module hạ áp LM2596, màn hình LCD giao tiếp I2C, mạch điều khiển relay để kích hoạt khóa điện và buzzer làm thiết bị cảnh báo. Về phần mềm, chương trình được xây dựng theo mô hình máy trạng thái (state machine), tách rõ các giai đoạn: chờ vân tay, xác thực vân tay, nhập mật mã, so khớp dữ liệu và phản hồi kết quả.

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, thời gian xử lý cho mỗi lượt điểm danh dưới 2 giây, giao diện hiển thị rõ ràng, thao tác đơn giản. Đề tài đáp ứng được các yêu cầu cơ bản của một hệ thống điểm danh tự động, đồng thời có tiềm năng mở rộng lên hệ thống quản lý điểm danh trực tuyến thông qua WiFi và server.

Mục lục

1 Giới thiệu	6
1.1 Bối cảnh và lý do chọn đề tài	6
1.2 Mục tiêu nghiên cứu	6
1.3 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu	6
1.4 Cấu trúc báo cáo	7
2 Cơ sở lý thuyết	8
2.1 Hệ thống nhúng và vi điều khiển ESP32	8
2.2 Cảm biến vân tay AS608	8
2.3 Keypad, LCD I2C, relay và module LM2596	8
2.4 Xác thực hai lớp (2FA)	9
2.5 Kết luận chương	9
3 Phân tích yêu cầu hệ thống	10
3.1 Yêu cầu chức năng	10
3.2 Yêu cầu phi chức năng	10
3.3 Ràng buộc thiết kế	10
3.4 Kịch bản sử dụng	11
3.5 Kết luận chương	11
4 Thiết kế phần cứng	12
4.1 Kiến trúc tổng thể	12
4.2 Sơ đồ nguyên lý	12
4.3 Thiết kế PCB	12
4.4 Đánh giá thiết kế phần cứng	13
5 Thiết kế phần mềm	15
5.1 Kiến trúc chương trình	15
5.2 Máy trạng thái hoạt động	15
5.3 Các module chức năng	15
5.4 Xử lý lỗi	16
6 Triển khai và kết quả	17
6.1 Lắp ráp và kiểm thử	17
6.2 Kịch bản và kết quả kiểm thử	17
6.3 Đánh giá	18

7	Kết luận và hướng phát triển	19
7.1	Kết luận	19
7.2	Hướng phát triển	19

Chương 1 Giới thiệu

1.1 Bối cảnh và lý do chọn đề tài

Trong môi trường đại học hiện nay, hoạt động điểm danh vẫn là một phần không thể thiếu nhằm đánh giá tính chuyên cần của sinh viên và đảm bảo chất lượng giảng dạy. Các phương pháp truyền thống như ký tên hoặc giáo viên đọc tên đều có nhiều hạn chế: tốn thời gian, dễ nhầm lẫn, dữ liệu khó lưu trữ lâu dài và đặc biệt dễ xảy ra tình trạng điểm danh hộ.

Các hệ thống điểm danh hiện đại hơn sử dụng thẻ từ (RFID), mã vạch hoặc mã QR đã ra đời, giúp rút ngắn thời gian điểm danh. Tuy nhiên, các phương pháp này vẫn chưa giải quyết triệt để vấn đề gian lận, bởi sinh viên có thể mượn thẻ hoặc gửi mã cho bạn quét hộ. Do đó, nhu cầu về một hệ thống có thể gắn danh tính trực tiếp với từng cá nhân trở nên cấp thiết.

Sinh trắc học, đặc biệt là nhận dạng vân tay, là một trong những giải pháp phù hợp vì mỗi dấu vân tay là duy nhất. Tuy vậy, chỉ sử dụng vân tay vẫn tồn tại một số rủi ro trong một số trường hợp đặc biệt (tay bị thương, bẩn, ướt hoặc bị ép buộc). Để tăng mức độ bảo mật, đề tài lựa chọn kết hợp vân tay với mật mã cá nhân – hình thành cơ chế xác thực hai lớp, tương tự các hệ thống bảo mật hiện đại (2-Factor Authentication – 2FA).

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát của đề tài là thiết kế và xây dựng một hệ thống điểm danh nhúng hoạt động ổn định, dễ sử dụng, có khả năng xác thực sinh viên dựa trên vân tay và mật mã. Các mục tiêu cụ thể:

- Nghiên cứu và lựa chọn linh kiện phần cứng phù hợp: ESP32, cảm biến vân tay AS608, keypad 4x4, LCD I2C, relay, buzzer, module nguồn LM2596.
- Thiết kế sơ đồ nguyên lý (schematic) và mạch in PCB cho hệ thống, đảm bảo tính hợp lý, dễ triển khai, dễ sửa chữa.
- Xây dựng phần mềm điều khiển trên ESP32 theo mô hình máy trạng thái, giao tiếp với cảm biến vân tay, keypad, LCD, relay và buzzer.
- Tiến hành kiểm thử hệ thống theo nhiều kịch bản khác nhau, đánh giá kết quả và rút ra ưu điểm, hạn chế.

1.3 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là hệ thống điểm danh dựa trên nền tảng vi điều khiển ESP32 kết hợp sinh trắc học vân tay và mật mã. Phạm vi đề tài tập trung vào một mô hình hệ thống điểm danh độc lập cho một lớp học, số lượng người dùng ở mức vừa phải.

Phương pháp thực hiện gồm các bước:

1. Khảo sát thực tế cách điểm danh hiện tại và xác định vấn đề cần giải quyết.
2. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về hệ thống nhúng, nhận dạng vân tay, keypad, LCD, relay, bộ nguồn và cơ chế xác thực hai lớp.
3. Thiết kế phần cứng: schematic, PCB, lựa chọn linh kiện và lắp ráp mạch.
4. Thiết kế phần mềm: xây dựng kiến trúc chương trình, máy trạng thái, các hàm giao tiếp ngoại vi.
5. Kiểm thử, đánh giá kết quả, hoàn thiện báo cáo.

1.4 Cấu trúc báo cáo

Báo cáo được chia thành bảy chương:

- **Chương 1: Giới thiệu** – Trình bày bối cảnh, lý do chọn đề tài, mục tiêu, phạm vi và phương pháp nghiên cứu.
- **Chương 2: Cơ sở lý thuyết** – Trình bày các kiến thức nền tảng về hệ thống nhúng, sinh trắc học vân tay, cơ chế xác thực hai lớp và tổng quan về các linh kiện sử dụng.
- **Chương 3: Phân tích yêu cầu hệ thống** – Xác định yêu cầu chức năng, phi chức năng, các ràng buộc thiết kế và kịch bản sử dụng hệ thống.
- **Chương 4: Thiết kế phần cứng** – Mô tả kiến trúc tổng thể, sơ đồ nguyên lý, thiết kế PCB và các lưu ý khi triển khai phần cứng.
- **Chương 5: Thiết kế phần mềm** – Trình bày kiến trúc chương trình, máy trạng thái, các module chức năng và quy trình xử lý chính.
- **Chương 6: Triển khai và kết quả** – Trình bày quá trình lắp ráp, kiểm thử, kết quả đo đạc, đánh giá ưu nhược điểm.
- **Chương 7: Kết luận và hướng phát triển** – Đánh giá chung về đề tài và đề xuất các hướng mở rộng trong tương lai.

Chương 2 Cơ sở lý thuyết

2.1 Hệ thống nhúng và vi điều khiển ESP32

Hệ thống nhúng là hệ thống máy tính chuyên dụng, được thiết kế để thực hiện một hoặc một nhóm chức năng nhất định, thường được tích hợp sâu trong các sản phẩm công nghiệp hoặc thiết bị tiêu dùng. Khác với máy tính đa năng, hệ thống nhúng có tài nguyên phần cứng hạn chế nhưng có độ ổn định cao, tiêu thụ năng lượng thấp và hoạt động tối ưu cho bài toán mục tiêu.

ESP32 là dòng vi điều khiển tích hợp WiFi/Bluetooth của hãng Espressif, có các đặc điểm nổi bật:

- CPU lõi kép, tốc độ xung nhịp lên đến hàng trăm MHz.
- RAM và flash tích hợp, đáp ứng tốt các ứng dụng tầm trung.
- Hỗ trợ nhiều giao thức ngoại vi: UART, I2C, SPI, PWM, ADC, v.v.

Trong đề tài, ESP32 đóng vai trò trung tâm xử lý, giao tiếp với cảm biến vân tay, keypad, LCD, relay và buzzer.

2.2 Cảm biến vân tay AS608

AS608 là cảm biến vân tay dạng module, tích hợp cả phần cứng chụp ảnh và bộ xử lý nội bộ. Quy trình làm việc cơ bản:

1. **Đăng ký (Enroll):** Người dùng đặt ngón tay nhiều lần, module chụp ảnh, trích xuất đặc trưng và lưu mẫu vân tay vào bộ nhớ với một ID.
2. **Xác thực (Match):** Người dùng đặt ngón tay, module trích xuất đặc trưng và so sánh với các mẫu đã lưu, trả về kết quả khớp hoặc không khớp.

Giao tiếp giữa ESP32 và AS608 thông qua UART; ESP32 gửi gói lệnh, nhận gói trả về và phân tích mã trạng thái.

2.3 Keypad, LCD I2C, relay và module LM2596

Keypad 4x4 gồm 4 hàng và 4 cột, cho phép nhập số và một số phím chức năng. Vi điều khiển lần lượt kích các cột và đọc các hàng để xác định phím được nhấn. Trong hệ thống, keypad dùng để nhập mật mã cá nhân.

LCD giao tiếp I2C giúp giảm số chân kết nối, chỉ dùng hai đường SDA, SCL. LCD hiển thị các trạng thái: yêu cầu đặt vân tay, nhập mật mã, báo thành công hay thất bại.

Relay sử dụng để điều khiển khóa điện 12V. Do ESP32 không đủ dòng để kích trực tiếp cuộn relay, cần transistor (C1815) làm phần tử khuếch đại dòng, diode dập xung ngược bảo vệ transistor. Buzzer được điều khiển qua transistor riêng để phát âm báo.

Module LM2596 là bộ chuyển đổi DC-DC dạng buck, hạ áp từ 12V xuống 5V cung cấp cho ESP32 và các ngoại vi.

2.4 Xác thực hai lớp (2FA)

Xác thực hai lớp kết hợp ít nhất hai yếu tố trong ba loại: kiến thức (mật khẩu), vật sở hữu (thẻ, thiết bị) và sinh trắc học (vân tay, khuôn mặt). Trong đề tài:

- Vân tay thuộc nhóm sinh trắc học – thứ người dùng *là*.
- Mật mã thuộc nhóm kiến thức – thứ người dùng *biết*.

Chỉ khi cả hai yếu tố đều hợp lệ, hệ thống mới chấp nhận điểm danh, qua đó nâng cao độ an toàn so với việc chỉ sử dụng một yếu tố duy nhất.

2.5 Kết luận chương

Chương 2 đã trình bày các kiến thức nền tảng về hệ thống nhúng, vi điều khiển ESP32, cảm biến vân tay AS608, keypad, LCD, relay, module nguồn LM2596 và cơ chế xác thực hai lớp. Đây là cơ sở để chuyển sang phân tích yêu cầu cụ thể của hệ thống ở chương kế tiếp.

Chương 3 Phân tích yêu cầu hệ thống

3.1 Yêu cầu chức năng

Từ bài toán thực tế, hệ thống cần đáp ứng các yêu cầu chức năng sau:

- Cho phép đăng ký (enroll) vân tay và mật mã cho từng sinh viên với một ID duy nhất.
- Thực hiện điểm danh: yêu cầu đặt vân tay, nếu hợp lệ thì yêu cầu nhập mật mã; chỉ khi cả hai đúng mới chấp nhận điểm danh.
- Điều khiển relay để kích hoạt khóa điện hoặc một thiết bị báo hiệu khi điểm danh thành công.
- Phát âm thanh cảnh báo qua buzzer cho các trạng thái: thành công, thất bại, lỗi.
- Hiển thị hướng dẫn thao tác và kết quả trên LCD.
- Ghi nhận thông tin điểm danh (ít nhất là ID và thời điểm) để có thể thống kê sau này.

3.2 Yêu cầu phi chức năng

Ngoài các chức năng chính, hệ thống phải đáp ứng:

- **Hiệu năng:** Thời gian xử lý một lượt điểm danh dưới 2 giây.
- **Độ tin cậy:** Hệ thống hoạt động ổn định, hạn chế treo, reset không mong muốn.
- **Dễ sử dụng:** Giao diện hiển thị rõ ràng, hướng dẫn cụ thể, thao tác đơn giản.
- **Khả năng mở rộng:** Cấu trúc phần mềm và phần cứng cho phép tích hợp thêm các chức năng như lưu log lên server, thống kê, báo cáo.

3.3 Ràng buộc thiết kế

Một số ràng buộc quan trọng:

- Nguồn cung cấp 12V DC là phổ biến trong hệ thống khóa điện, nên mạch cần tương thích.
- Số lượng chân GPIO của ESP32 có hạn; do đó cần sử dụng LCD I2C thay vì LCD song song để tiết kiệm chân.
- Cảm biến vân tay và mạch điều khiển relay phải được cấp nguồn ổn định, có lọc nhiễu.

3.4 Kịch bản sử dụng

Kịch bản sử dụng điển hình:

1. Sinh viên đến lớp, nhìn vào LCD thấy dòng “Nhập mật mã”, sau khi nhập đúng mật mã thì dòng “Đặt vân tay” xuất hiện.
2. Sinh viên đặt ngón tay đã đăng ký lên cảm biến AS608.
3. Nếu vân tay không khớp với bất kỳ mẫu nào, hệ thống hiển thị thông báo lỗi và yêu cầu thử lại; không cho nhập mật mã.
4. Nếu vân tay hợp lệ, hệ thống hiển thị “Nhập mật mã”, chờ sinh viên nhập PIN trên keypad.
5. Nếu mật mã sai, hệ thống báo lỗi và không kích relay.
6. Nếu mật mã đúng, hệ thống:
 - Kích relay mở khóa trong một khoảng thời gian.
 - Phát âm thanh báo thành công.
 - Ghi nhận thông tin điểm danh.

3.5 Kết luận chương

Chương 3 đã xác định rõ các yêu cầu chức năng, phi chức năng, ràng buộc và kịch bản sử dụng của hệ thống, làm cơ sở cho việc thiết kế phần cứng và phần mềm ở các chương sau.

Chương 4 Thiết kế phần cứng

4.1 Kiến trúc tổng thể

Về kiến trúc, hệ thống gồm các khối:

- Khối nguồn: 12V DC → LM2596 → 5V.
- Khối vi điều khiển ESP32.
- Khối cảm biến vân tay AS608.
- Khối keypad 4x4.
- Khối LCD I2C.
- Khối điều khiển relay và buzzer.

Tất cả các khối dùng chung mass và được tổ chức sao cho đường tín hiệu ngắn gọn, hạn chế nhiễu chéo.

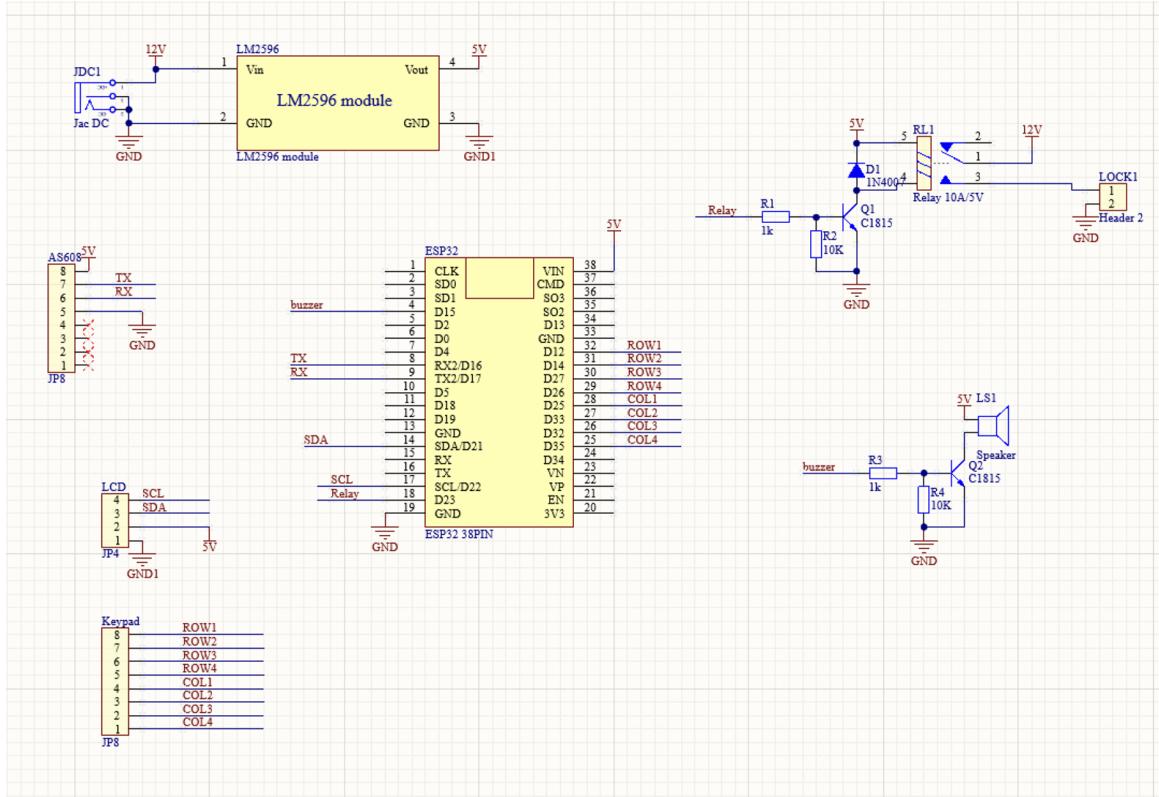
4.2 Sơ đồ nguyên lý

Nguồn 12V vào module LM2596, đầu ra 5V cấp cho ESP32, AS608, LCD, relay và buzzer. ESP32 sử dụng UART để giao tiếp với AS608, I2C với LCD, GPIO để đọc keypad và điều khiển transistor Q1, Q2 cho relay và buzzer.

4.3 Thiết kế PCB

Dựa trên schematic, mạch in được bố trí:

- ESP32 đặt tại trung tâm, thuận lợi nối dây tới keypad, AS608 và LCD.
- LM2596 và khu nguồn đặt ở một góc, gần đầu vào 12V để đường dòng lớn ngắn nhất.
- Relay và đầu nối khóa điện 12V đặt gần nhau với đường mạch rộng hơn để chịu dòng.
- Buzzer và mạch transistor đặt ở khu riêng, tránh đứt sét các đường tín hiệu nhạy cảm.
- Plane GND phủ gần như toàn bộ mặt đáy giúp giảm nhiễu và ổn định điện áp.

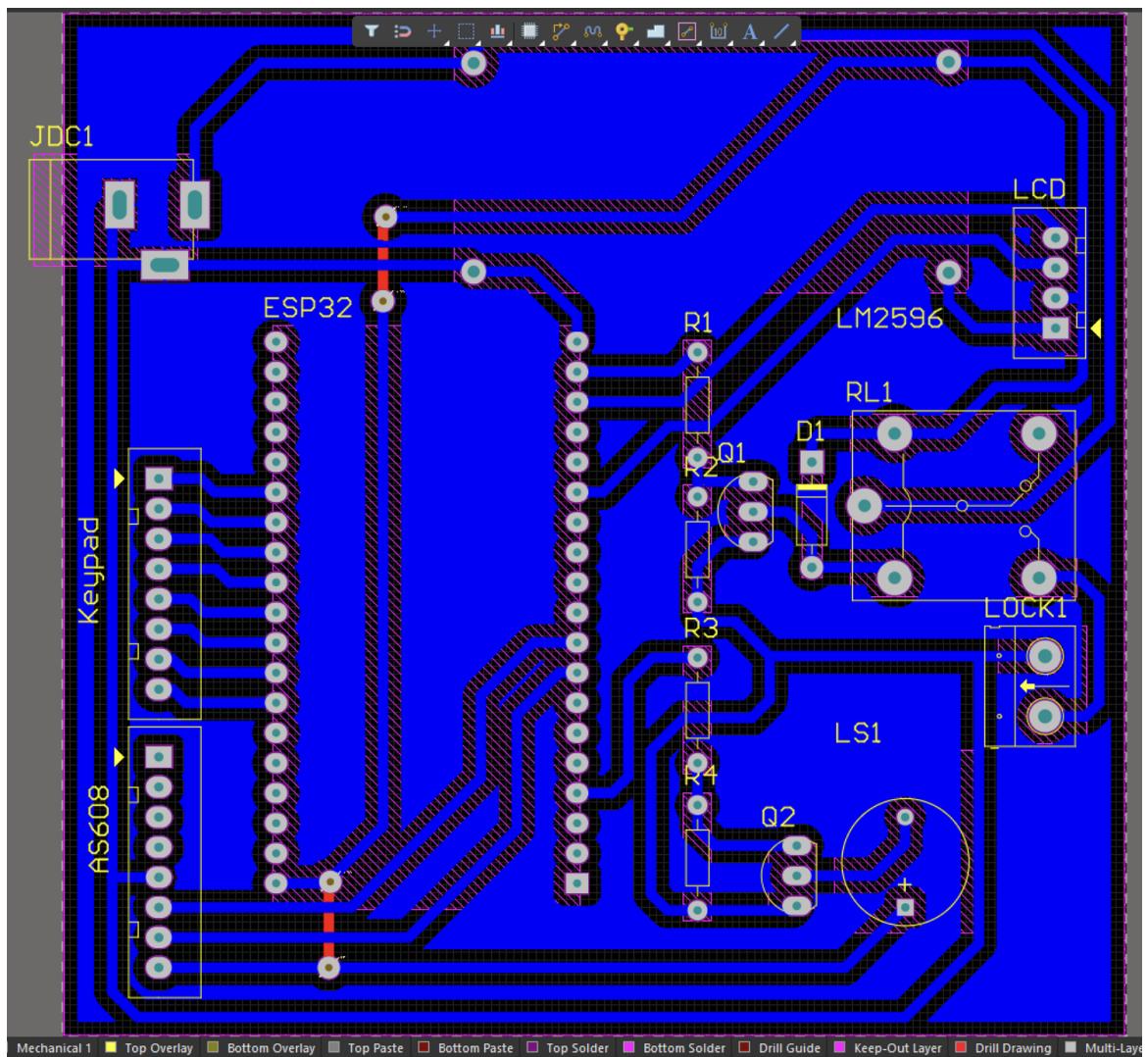


Hình 4.1: Sơ đồ nguyên lý hệ thống điểm danh

4.4 Đánh giá thiết kế phần cứng

Thiết kế phần cứng đạt được các yêu cầu:

- Đảm bảo cấp nguồn ổn định, phân tách rõ khu vực nguồn và khu vực tín hiệu.
- Đường mạch hợp lý, thuận tiện gia công, hàn lắp và sửa chữa.
- Giảm thiểu nhiễu cho cảm biến vân tay và vi điều khiển.



Hình 4.2: Bố trí linh kiện và đường mạch PCB của hệ thống

Chương 5 Thiết kế phần mềm

5.1 Kiến trúc chương trình

Phần mềm được xây dựng theo mô hình vòng lặp vô tận (super loop) kết hợp máy trạng thái. Các module chính:

- Khởi tạo phần cứng (UART, I2C, GPIO).
- Giao tiếp với cảm biến vân tay AS608.
- Xử lý keypad và mật mã.
- Hiển thị LCD.
- Điều khiển relay và buzzer.

5.2 Máy trạng thái hoạt động

Các trạng thái chính của máy trạng thái bao gồm:

1. **CHỜ:** LCD hiển thị yêu cầu đặt vân tay, hệ thống chờ sự kiện từ AS608.
2. **XÁC THỰC VÂN TAY:** Gửi lệnh đến AS608, nhận kết quả khớp/không khớp.
3. **NHẬP MẬT MÃ:** Nếu vân tay đúng, hệ thống chuyển sang trạng thái đọc phím từ keypad.
4. **KIỂM TRA MẬT MÃ:** So sánh mật mã người dùng nhập với mật mã đã lưu.
5. **THÀNH CÔNG/THẤT BẠI:** Nếu đúng, kích relay, bật buzzer, ghi log; nếu sai, báo lỗi và quay về trạng thái chờ.

Việc tổ chức theo trạng thái giúp chương trình rõ ràng, dễ theo dõi và bảo trì.

5.3 Các module chức năng

- **Module AS608:** Cài đặt các hàm gửi lệnh, nhận phản hồi, phân tích mã lỗi, hàm biệt hóa giữa chế độ đăng ký và xác thực.
- **Module keypad:** Quét hàng – cột, chống dội phím, trả về mã phím nhấn, xây dựng chuỗi mật mã.
- **Module LCD:** Các hàm in chuỗi, xóa màn hình, cập nhật thông báo theo trạng thái hệ thống.
- **Module relay/buzzer:** Đóng/ngắt relay, bật/tắt buzzer trong thời gian quy định.

5.4 Xử lý lỗi

Chương trình có các cơ chế:

- Thời gian chờ (timeout) khi giao tiếp với AS608 để tránh treo hệ thống.
- Giới hạn số lần nhập sai mật mã; sau một số lần sai liên tiếp, hệ thống có thể yêu cầu chờ một khoảng thời gian rồi mới cho thử lại.
- Hiển thị thông báo lỗi cụ thể trên LCD để người dùng dễ hiểu và thao tác lại.

Chương 6 Triển khai và kết quả

6.1 Lắp ráp và kiểm thử

Sau khi PCB được in và hàn linh kiện, hệ thống được cấp nguồn 12V, kiểm tra điện áp đầu ra của LM2596, sau đó lần lượt kiểm tra từng khối:

- Kiểm tra ESP32: nạp chương trình nhấp nháy LED, kiểm tra nguồn và reset.
- Kiểm tra giao tiếp AS608: test lệnh đơn giản như đọc phiên bản, đọc số mẫu vân tay.
- Kiểm tra keypad: hiển thị mã phím nhấn lên LCD.
- Kiểm tra LCD: hiển thị ký tự, xóa màn hình.
- Kiểm tra relay và buzzer: kích thử relay, nghe âm báo.

Sau khi từng khối hoạt động ổn định, chương trình hoàn chỉnh được nạp để kiểm thử hệ thống tổng thể.

6.2 Kịch bản và kết quả kiểm thử

Một số kịch bản kiểm thử:

- Đăng ký nhiều mẫu vân tay cho các ID khác nhau, sau đó xác thực theo từng ID.
- Điểm danh đúng (vân tay và mật mã đều đúng).
- Điểm danh sai vân tay.
- Điểm danh vân tay đúng nhưng mật mã sai.
- Điểm danh liên tục nhiều sinh viên nối tiếp trong một khoảng thời gian.

Kết quả tổng hợp cho thấy:

- Thời gian xử lý một lượt điểm danh trung bình vào khoảng 1–2 giây.
- Hệ thống không xuất hiện hiện tượng treo hoặc reset khi điểm danh liên tục.
- Các trường hợp sai vân tay hoặc sai mật mã đều bị từ chối đúng như thiết kế.

6.3 Đánh giá

Ưu điểm:

- Đảm bảo tính bảo mật cao nhờ kết hợp hai lớp xác thực.
- Thời gian thao tác nhanh, không gây ùn tắc khi điểm danh.
- Thiết kế phần cứng và phần mềm rõ ràng, dễ hiểu, dễ mở rộng.

Hạn chế:

- Chưa có chức năng lưu trữ và thống kê dữ liệu điểm danh trên server.
- Việc đăng ký vân tay và mật mã vẫn thực hiện trực tiếp trên thiết bị, chưa có giao diện quản lý riêng.

Chương 7 Kết luận và hướng phát triển

7.1 Kết luận

Đề tài đã thiết kế và xây dựng thành công một hệ thống điểm danh sử dụng vi điều khiển ESP32, cảm biến vân tay AS608 và màn hình LCD 16x2. Hệ thống hoạt động ổn định, thời gian xử lý nhanh, giao diện hiển thị rõ ràng, đáp ứng các yêu cầu đề ra về mặt chức năng và phi chức năng.

Thông qua đề tài, sinh viên đã vận dụng được kiến thức về hệ thống nhúng, thiết kế mạch điện tử, lập trình vi điều khiển và kỹ năng phân tích – giải quyết vấn đề kỹ thuật trong một bài toán thực tế.

7.2 Hướng phát triển

Trong tương lai, hệ thống có thể được phát triển theo các hướng:

- Tích hợp WiFi để gửi dữ liệu điểm danh lên server, xây dựng hệ thống quản lý tập trung.
- Xây dựng giao diện web hoặc ứng dụng di động để giảng viên và sinh viên tra cứu lịch sử điểm danh.
- Mở rộng khả năng quản lý nhiều lớp, nhiều phòng học, cho phép cấu hình linh hoạt theo thời khóa biểu.
- Nâng cấp giao diện hiển thị bằng màn hình đồ họa (TFT, OLED), bổ sung các chức năng cấu hình trực tiếp trên thiết bị.

Tài liệu tham khảo

- [1] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*.
- [2] Tài liệu kỹ thuật cảm biến vân tay AS608.
- [3] Giáo trình Hệ thống Nhúng, Khoa Điện – Điện tử, Trường
- [4] Một số tài liệu tham khảo về xác thực hai lớp và ứng dụng sinh trắc học trong hệ thống nhúng.