

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA TP.HCM
Khoa Khoa học và Kỹ thuật Máy tính



MÁY BÁN HÀNG TỰ ĐỘNG
Báo cáo Kỹ thuật

Đồ án Thiết kế Luận lý với Vi điều khiển STM32

Giảng viên hướng dẫn:
Nguyễn Thành Lộc

Nhóm tác giả:
Nguyễn Hưng Thịnh
Lê Thế Lộc
Trần Doãn Hoàng Lâm

Ngày 22 tháng 12 năm 2025

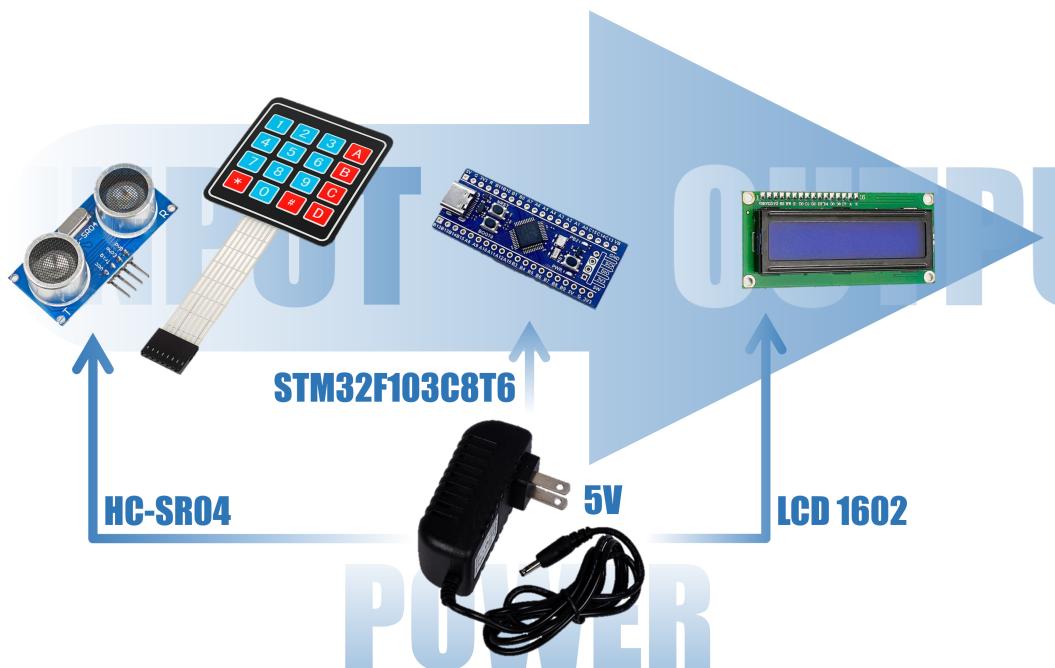
Mục lục

1	Tổng quan Hệ thống	3
1.1	Kiến trúc Hệ thống	3
1.2	Yêu cầu Hệ thống	3
1.3	Luồng Vận hành Hệ thống	4
2	Thành phần Phần cứng	5
2.1	Vi điều khiển - STM32F103C8T6	5
2.2	LCD 1602 với I2C	6
2.3	Bàn phím Ma trận 4×4	7
2.4	Cảm biến Siêu âm HC-SR04	7
2.5	Bộ nhớ - Flash Nội bộ	7
3	Thiết kế Phần mềm	8
3.1	Kiến trúc Máy trạng thái Hữu hạn	8
3.2	Hệ thống Quản lý Bộ định thời	10
3.3	Cấu trúc Dữ liệu và Quản lý Bộ nhớ	12
3.4	Các Thuật toán Chính	13
3.4.1	Thuật toán Phát hiện Khách hàng	13
3.4.2	Thuật toán Xác thực Thanh toán	13
3.4.3	Thuật toán Lưu trữ Kho hàng	14
3.4.4	Thuật toán Xác thực Quản trị	15
3.5	Tổ chức Mã nguồn và Tính Mô-đun	16
3.5.1	Cấu trúc Mô-đun	16
3.5.2	Phụ thuộc Mô-đun	16
4	Hiện thực	17
4.1	Hiện thực Trình điều khiển Ngoại vi	17
4.2	Chi tiết Hiện thực Máy trạng thái	21
4.3	Quản lý Hiển thị và Xử lý Lỗi	24
4.4	Tối ưu hóa Hiệu năng	24
5	Trình diễn	24
6	Kết luận	25
6.1	Thành tựu Dự án	25
6.2	Ứng dụng Thực tế	26
7	Thông tin Dự án	26
7.1	GitHub repository	26
7.2	Tác giả	27
7.3	Lời cảm ơn	27

1 Tổng quan Hệ thống

1.1 Kiến trúc Hệ thống

Hệ thống máy bán hàng tự động tuân theo mẫu thiết kế kiến trúc phân lớp, tách biệt phần trùu tượng hóa phần cứng, logic nghiệp vụ và giao diện người dùng. Hình 1 minh họa kiến trúc tổng thể của hệ thống.



Hình 1: Sơ đồ kiến trúc hệ thống

1.2 Yêu cầu Hệ thống

- FR1: **Phát hiện Khách hàng:** Hệ thống sẽ phát hiện sự hiện diện của khách hàng trong phạm vi 20cm trong 3 giây liên tiếp và tự động bật nguồn
- FR2: **Duyệt Sản phẩm:** Người dùng sẽ điều hướng qua 16 sản phẩm bằng các phím Lên/Xuống với cập nhật hiển thị thời gian thực
- FR3: **Thông tin Sản phẩm:** Hệ thống sẽ hiển thị tên sản phẩm, tên người chơi, số lượng có sẵn và giá
- FR4: **Chọn Số lượng:** Người dùng sẽ nhập số lượng từ 1-9 đơn vị với xác thực và phản hồi lỗi
- FR5: **Xử lý Thanh toán:** Hệ thống sẽ chấp nhận các mệnh giá tiền tệ Việt Nam (5K, 10K, 20K, 50K, 100K, 200K, 500K VND) và tính toán tiền thừa

FR6: **Quản lý Kho hàng:** Hệ thống sẽ theo dõi mức tồn kho và ngăn chặn bán hàng khi hết hàng

FR7: **Lưu trữ Dữ liệu:** Dữ liệu kho hàng sẽ tồn tại qua các chu kỳ nguồn sử dụng bộ nhớ Flash

FR8: **Truy cập Quản trị:** Chế độ quản trị được bảo vệ bằng mật khẩu sẽ cho phép điều chỉnh kho hàng và giá cả

FR9: **Xử lý Lỗi:** Hệ thống sẽ xử lý các đầu vào không hợp lệ, thời gian chờ và hiển thị các thông báo lỗi thích hợp

FR10: **Hoàn tất Giao dịch:** Khi thanh toán thành công, hệ thống sẽ cập nhật kho hàng và quay lại lựa chọn sản phẩm

1.3 Luồng Vận hành Hệ thống

Hoạt động hoàn chỉnh của hệ thống tuân theo trình tự sau:

1. Giai đoạn Khởi tạo:

- Bật nguồn và khởi tạo phần cứng
- Tải kho hàng từ bộ nhớ Flash (hoặc khởi tạo mặc định nếu là lần khởi động đầu tiên)
- Cấu hình tất cả các thiết bị ngoại vi (GPIO, I2C, Timer)
- Hiển thị màn hình khởi tạo
- Vào trạng thái nhàn rỗi với giám sát cảm biến

2. Giai đoạn Phát hiện Khách hàng:

- Quét liên tục cảm biến siêu âm mỗi 100ms
- Phát hiện sự hiện diện khi khoảng cách $\leq 20\text{cm}$ trong 3 giây
- Kích hoạt đèn nền và hiển thị thông báo chào mừng
- Chuyển sang chế độ chọn sản phẩm

3. Giai đoạn Chọn Sản phẩm:

- Hiển thị sản phẩm hiện tại (ID, tên, người chơi)
- Chấp nhận các phím Lên/Xuống để điều hướng qua 16 sản phẩm
- Phím # để xem thông tin chi tiết
- Phím R để vào chế độ quản trị (yêu cầu mật khẩu)
- Thời gian chờ không hoạt động 30 giây quay lại trạng thái nhàn rỗi

4. Giai đoạn Mua hàng:

- Hiển thị chi tiết số lượng và giá
- Chấp nhận đầu vào số lượng (1-9 đơn vị)
- Xác thực tình trạng còn hàng

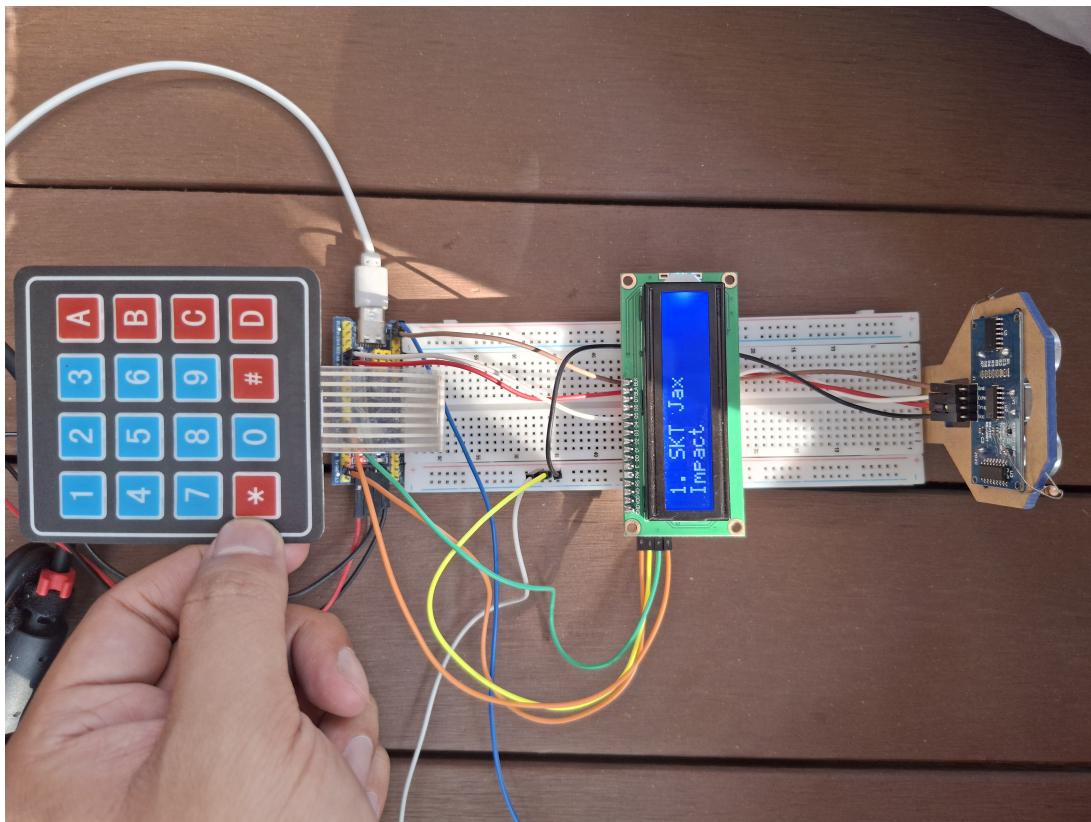
- Tính toán và hiển thị tổng số tiền thanh toán
- Chấp nhận đầu vào thanh toán với xác thực mệnh giá
- Tính toán tiền thừa nếu trả thừa
- Cập nhật kho hàng và lưu vào Flash

5. Giai đoạn Chế độ Quản trị:

- Xác thực với mật khẩu 6 chữ số
- Điều hướng sản phẩm để điều chỉnh
- Sửa đổi số lượng (0-9) và giá (1K-99K VND)
- Lưu thay đổi vào bộ nhớ Flash
- Thời gian chờ không hoạt động 60 giây để bảo mật

2 Thành phần Phần cứng

Phần này cung cấp thông số kỹ thuật chi tiết và chi tiết tích hợp cho tất cả các thành phần phần cứng được sử dụng trong hệ thống máy bán hàng tự động.



Hình 2: Hiện thực phần cứng của hệ thống Máy bán hàng tự động

2.1 Vi điều khiển - STM32F103C8T6

STM32F103C8T6 (thường được gọi là "Blue Pill") đóng vai trò là đơn vị xử lý trung tâm của hệ thống.

STM32F103C8T6 được chọn cho dự án này vì:

- Sức mạnh Xử lý:** Xung nhịp 72 MHz cung cấp đủ hiệu năng cho các hoạt động thời gian thực
- Bộ nhớ:** 64 KB Flash chứa được các trình điều khiển HAL và mã ứng dụng; 20 KB RAM đủ cho dữ liệu thời gian chạy
- Hỗ trợ Ngoại vi:** Tích hợp sẵn I2C, bộ định thời và GPIO đáp ứng mọi yêu cầu giao diện
- Hệ sinh thái Phát triển:** Hỗ trợ tuyệt vời thông qua STM32CubeIDE và thư viện HAL
- Hiệu quả Chi phí:** Bo mạch phát triển giá rẻ có sẵn rộng rãi
- Hỗ trợ Cộng đồng:** Cộng đồng người dùng lớn và tài liệu phong phú

Các gán chân quan trọng cho dự án này:

Bảng 1: Gán chân STM32F103C8T6

Chân	Chức năng	Mô tả
PA0-PA3	Hàng Bàn phím	Chân đầu ra để quét bàn phím
PA4-PA7	Cột Bàn phím	Chân đầu vào với điện trở kéo lên
PB6	I2C1_SCL	Xung nhịp I2C cho giao tiếp LCD
PB7	I2C1_SDA	Dữ liệu I2C cho giao tiếp LCD
PA8	TIM1_CH1	ECHO cảm biến siêu âm (Bắt đầu vào)
PA9	GPIO Output	TRIG cảm biến siêu âm
PC13	GPIO Output	Đèn báo LED (tích cực mức thấp)
PA13	SWDIO	Dữ liệu I/O Gõ lỗi Serial Wire
PA14	SWCLK	Xung nhịp Gõ lỗi Serial Wire

2.2 LCD 1602 với I2C

Hệ thống sử dụng màn hình LCD 16x2 kết hợp với bộ mở rộng I/O I2C PCF8574 để hiển thị thông tin.

Hệ thống hiện thực giao tiếp I2C bit-banged:

- Điều kiện START:** SDA chuyển từ cao xuống thấp trong khi SCL ở mức cao
- Khung Địa chỉ:** Gửi địa chỉ slave 7-bit + bit R/W
- Truyền Dữ liệu:** Gửi dữ liệu 8-bit với kiểm tra ACK
- Điều kiện STOP:** SDA chuyển từ thấp lên cao trong khi SCL ở mức cao

Đối với hoạt động LCD ở chế độ 4-bit:

- Gửi nibble cao (4 bit) của byte dữ liệu
- Tạo xung chân Enable
- Gửi nibble thấp (4 bit) của byte dữ liệu
- Tạo xung chân Enable

2.3 Bàn phím Ma trận 4×4

Bàn phím ma trận cung cấp 16 phím được sắp xếp thành 4 hàng và 4 cột, hoạt động dựa trên nguyên tắc quét hàng-cột.

Các công tắc cơ học thể hiện hiện tượng rung, gây ra nhiều chuyển đổi trong một lần nhấn. Hệ thống hiện thực chống rung bằng phần mềm:

```

1 if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c]) == GPIO_PIN_RESET) {
2     HAL_Delay(20); // Debounce delay
3
4     if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c]) == GPIO_PIN_RESET) {
5         // Key press confirmed
6         while (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c]) ==
7             GPIO_PIN_RESET);
8         // Wait for release
9         return keymap[r][c];
10    }
11 }
```

Listing 1: Hiện thực Chống rung Bàn phím

2.4 Cảm biến Siêu âm HC-SR04

HC-SR04 sử dụng phép đo thời gian bay (time-of-flight) để đo khoảng cách.

Hệ thống sử dụng Kênh 1 của TIM1 được cấu hình cho chế độ Bắt đầu vào (Input Capture):

- **Chế độ Bắt:** Cả hai cạnh (lên và xuống)
- **Tần số Bộ định thời:** 1 MHz (độ phân giải 1 micro giây)
- **Ngắt:** Được kích hoạt khi có sự kiện bắt

Trình tự đo:

1. Bắt lần đầu (cạnh lên): Ghi lại thời gian bắt đầu IC_Val1
2. Bắt lần hai (cạnh xuống): Ghi lại thời gian kết thúc IC_Val2
3. Tính hiệu số: $Difference = IC_Val2 - IC_Val1$
4. Xử lý tràn bộ định thời: Nếu $IC_Val1 > IC_Val2$, cộng thêm chu kỳ bộ định thời
5. Chuyển đổi sang khoảng cách: $Distance = Difference \times 0.034/2$

2.5 Bộ nhớ - Flash Nội bộ

Hệ thống sử dụng trang cuối cùng (Trang 63) của bộ nhớ Flash nội bộ để lưu trữ dữ liệu kho hàng, đảm bảo dữ liệu được bảo toàn khi mất điện.

Cấu trúc dữ liệu kho hàng (44 byte mỗi sản phẩm):

- **Số Ma thuật:** 4 byte (0xDEADBEEF) để xác thực dữ liệu

- **Mảng Sản phẩm:** $16 \text{ sản phẩm} \times 44 \text{ byte} = 704 \text{ byte}$
- **Tổng Lưu trữ:** 708 byte (vừa trong trang 1 KB)

Khi bật nguồn:

1. Đọc số ma thuật từ Trang 63 của Flash
2. Nếu số ma thuật khớp 0xDEADBEEF: Tải kho hàng từ Flash
3. Nếu số ma thuật không hợp lệ: Khởi tạo kho hàng mặc định và lưu vào Flash

3 Thiết kế Phần mềm

3.1 Kiến trúc Máy trạng thái Hữu hạn

Trạng thái Khởi tạo (1-2):

- **INIT:** Khởi tạo hệ thống, thiết lập ngoại vi, tải kho hàng từ Flash
- **WAIT_SENSOR:** Trạng thái nhàn rỗi với giám sát cảm biến siêu âm liên tục để phát hiện khách hàng

Trạng thái Giao dịch Khách hàng (3-14):

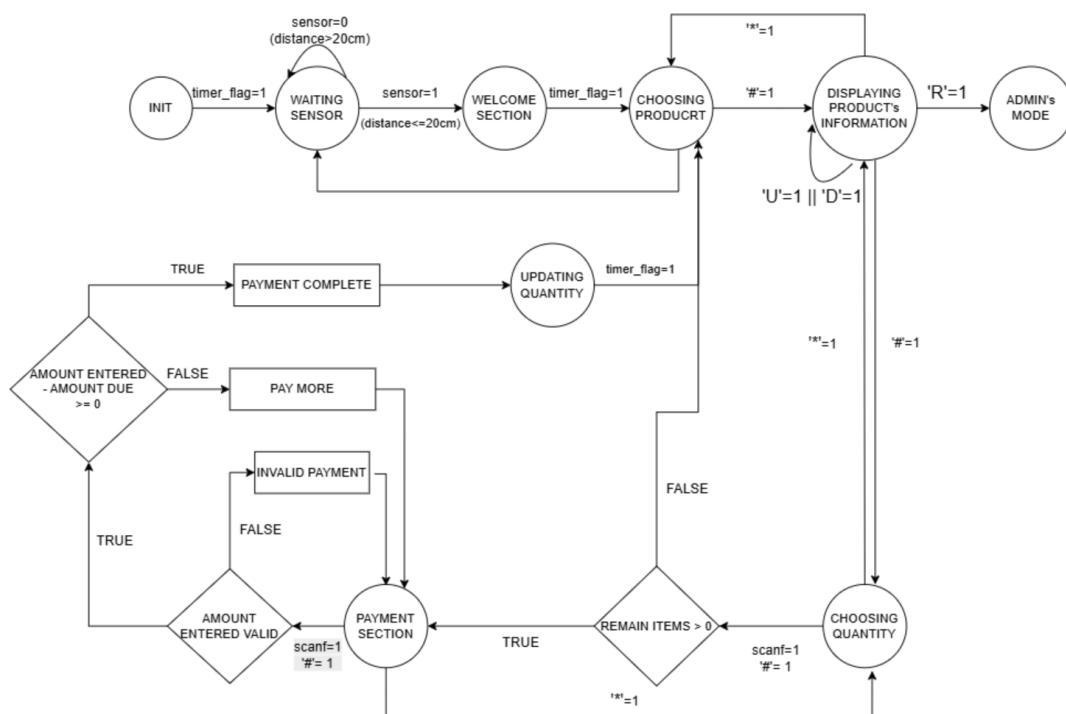
- **WELCOME_SECTION:** Hiển thị thông báo chào mừng trong 3 giây
- **CHOOSING_SKIN:** Duyệt sản phẩm với điều hướng Lên/Xuống
- **DISPLAY_INFO:** Hiển thị thông tin chi tiết sản phẩm (số lượng, giá)
- **CHOOSING_QUANTITY:** Nhập số lượng (1-9)
- **OUT_OF_STOCK_NOTIFICATION:** Cảnh báo khi sản phẩm đã chọn không có sẵn
- **QUANTITY_ERROR:** Xử lý nhập số lượng không hợp lệ với thử lại
- **MAX_ERROR_STATE:** Hủy giao dịch sau 5 lỗi liên tiếp
- **PAYMENT_SHOW_TOTAL:** Hiển thị tổng số tiền phải trả
- **PAYMENT_INPUT:** Chấp nhận các mệnh giá thanh toán
- **PAYMENT_ERROR:** Xử lý số tiền thanh toán không hợp lệ
- **PAYMENT_INFO_WAIT:** Hiển thị số tiền còn lại hoặc tiền thừa
- **THANKS:** Thông báo cảm ơn và cập nhật kho hàng

Trạng thái Chế độ Quản trị (15-19):

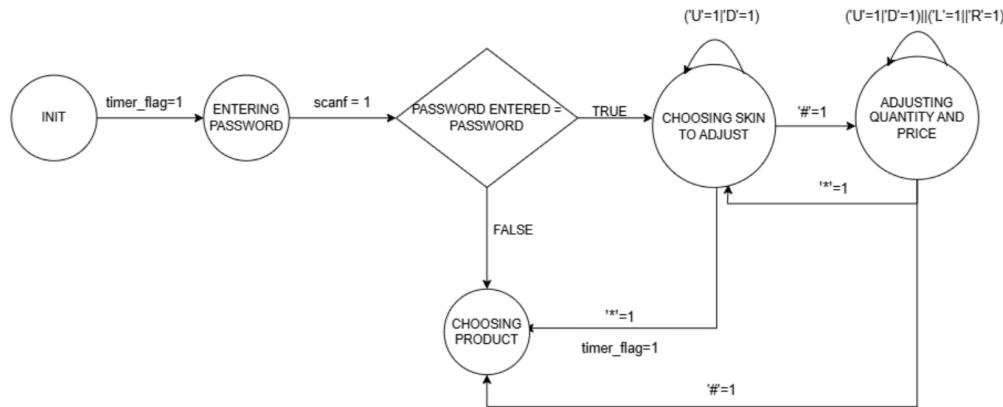
- ADMIN_MODE: Xác nhận đăng nhập thành công
- CHOOSING_SKIN_TO_ADJUST: Chọn sản phẩm để sửa đổi
- TIMEOUT_ADMIN_MODE: Tự động đăng xuất sau 60 giây không hoạt động
- ADJUST_QUANTITY_AND_PRICE: Chính sửa kho hàng và giá cả
- CONFIRM_EXIT_ADMIN_MODE: Hộp thoại xác nhận đăng xuất

Sơ đồ Chuyển đổi Trạng thái

Các chuyển đổi trạng thái tuân theo các đường dẫn chính sau:



Hình 3: Sơ đồ chuyển đổi trạng thái FSM (Chế độ Người dùng)

ADMIN's MODE

Hình 4: Sơ đồ chuyển đổi trạng thái FSM (Chế độ Quản trị)

Luồng Giao dịch Bình thường:

INIT → WAIT_SENSOR → WELCOME_SECTION → CHOOSING_SKIN
 → DISPLAY_INFO → CHOOSING_QUANTITY → PAYMENT_SHOW_TOTAL
 → PAYMENT_INPUT → PAYMENT_INFO_WAIT → THANKS → CHOOSING_SKIN

Đường dẫn Phục hồi Lỗi:

- Lỗi số lượng: CHOOSING_QUANTITY → QUANTITY_ERROR → CHOOSING_QUANTITY (hoặc MAX_ERROR_STATE sau 5 lần thử)
- Lỗi thanh toán: PAYMENT_INPUT → PAYMENT_ERROR → PAYMENT_INPUT (hoặc INIT sau 5 lần thử)
- Hết hàng: DISPLAY_INFO → OUT_OF_STOCK_NOTIFICATION → DISPLAY_INFO
- Thời gian chờ: Bất kỳ trạng thái khách hàng nào → trạng thái phục hồi thích hợp sau 30 giây

Đường dẫn Quản trị:

CHOOSING_SKIN (Phím R + mật khẩu) → ADMIN_MODE
 → CHOOSING_SKIN_TO_ADJUST → ADJUST_QUANTITY_AND_PRICE
 → CHOOSING_SKIN_TO_ADJUST hoặc CONFIRM_EXIT_ADMIN_MODE

3.2 Hệ thống Quản lý Bộ định thời

Hệ thống sử dụng cơ chế bộ định thời phần mềm để quản lý độ trễ, thời gian chờ và chuyển đổi trạng thái mà không chặn thực thi.

Các loại Bộ định thời

Năm loại bộ định thời độc lập được hiện thực:

Bảng 2: Các loại Bộ định thời Phần mềm

Bộ định thời	Thời lượng	Mục đích
init_timer	1000ms	Độ trễ khởi tạo trước khi kích hoạt cảm biến
welcome_timer	3000ms	Thời gian hiển thị màn hình chào mừng
timeout_timer	30s / 60s	Thời gian chờ không hoạt động (khách/admin)
message_timer	3000ms	Thời gian hiển thị thông báo thông tin
sensor_timer	100ms	Khoảng thời gian thăm dò cảm biến siêu âm

Hiện thực Bộ định thời

Mỗi bộ định thời bao gồm ba thành phần:

```

1 // Counter: Decremented each millisecond
2 int welcome_timer_counter = 0;
3
4 // Flag: Set to 1 when counter reaches 0
5 int welcome_timer_flag = 0;
6
7 // Setter function: Initialize counter and clear flag
8 void setWelcomeTimer(int duration) {
9     welcome_timer_counter = duration;
10    welcome_timer_flag = 0;
11 }
```

Listing 2: Cấu trúc Dữ liệu Bộ định thời

Thực thi Bộ định thời

Hàm timerRun() được gọi mỗi 1ms (thường trong ngắt SysTick):

```

1 void timerRun() {
2     if (welcome_timer_counter > 0) {
3         welcome_timer_counter--;
4         if (welcome_timer_counter <= 0) {
5             welcome_timer_flag = 1;
6         }
7     }
8     // ... repeat for other timers ...
9 }
```

Listing 3: Hàm Cập nhật Bộ định thời

Mẫu Sử dụng Bộ định thời

Cách sử dụng điển hình trong các trạng thái FSM:

```

1 case WELCOME_SECTION:
2     // State entry: Set timer
3     if (entered_state) {
4         setWelcomeTimer(3000); // 3 second display
```

```

5     lcd_clear();
6     lcd_write_string("WELCOME !");
7 }
8
9 // State execution: Check flag
10 if (welcome_timer_flag == 1) {
11     status = CHOOSING_SKIN; // Transition
12     lcd_clear();
13 }
14 break;

```

Listing 4: Ví dụ Sử dụng Bộ định thời

3.3 Cấu trúc Dữ liệu và Quản lý Bộ nhớ

Cấu trúc Dữ liệu Sản phẩm

Hệ thống kho hàng sử dụng kiểu dữ liệu có cấu trúc cho sản phẩm:

```

1 typedef struct {
2     uint8_t id;                      // Product ID (1-16)
3     char skinName[16];               // Product name (e.g., "SKT Jax")
4     char playerName[16];             // Player name (e.g., "Impact")
5     uint32_t quantity;              // Stock level (0-9)
6     uint32_t price;                 // Price in VND
7 } Skin;
8
9 // Global inventory array
10 Skin skt_skinds[16];

```

Listing 5: Cấu trúc Dữ liệu Sản phẩm

Dấu chân bộ nhớ: 44 byte mỗi sản phẩm × 16 sản phẩm = 704 byte

Bộ nhớ Flash

Lưu trữ dữ liệu sử dụng bộ nhớ Flash nội bộ:

```

1 // Page 63 address: Last 1KB of 64KB Flash
2 #define FLASH_ADDR_PAGE_63 0x0800FC00
3
4 // Magic number for data validation
5 #define MAGIC_NUMBER          0xDEADBEEF
6
7 // Memory layout:
8 // Offset 0x00: Magic number (4 bytes)
9 // Offset 0x04: Skin array (704 bytes)
10 // Total: 708 bytes

```

Listing 6: Cấu hình Bộ nhớ Flash

Biến Toàn cục

Các biến trạng thái chính được duy trì bởi FSM:

```

1 int status = INIT;                  // Current FSM state
2 uint8_t current_id = 1;             // Selected product ID
3 uint32_t input_quantity = 0;        // User-entered quantity

```

```

4  uint8_t error_count = 0;                                // Consecutive error counter
5
6  uint32_t total_payable = 0;                             // Total payment required
7  uint32_t money_inserted_current = 0;                   // Current denomination
   input
8  uint32_t money_paid_accumulated = 0;                  // Total paid so far
9  uint8_t payment_error_count = 0;                      // Payment error counter
10
11 uint32_t detection_start_time = 0;                   // Sensor detection
   timestamp

```

Listing 7: Biến Trạng thái Toàn cục

3.4 Các Thuật toán Chính

3.4.1 Thuật toán Phát hiện Khách hàng

Hệ thống giám sát liên tục cảm biến siêu âm. Nếu phát hiện vật thể trong phạm vi 20cm trong 3 giây liên tiếp, hệ thống sẽ chuyển sang trạng thái chào mừng. Cơ chế này giúp lọc nhiễu và đảm bảo sự hiện diện có chủ ý của khách hàng.

3.4.2 Thuật toán Xác thực Thanh toán

Xử lý thanh toán đa mệnh giá:

```

1 // Valid Vietnamese currency denominations
2 int is_valid_money(uint32_t amount) {
3     switch(amount) {
4         case 5000:
5         case 10000:
6         case 20000:
7         case 50000:
8         case 100000:
9         case 200000:
10        case 500000:
11            return 1;
12        default:
13            return 0;
14    }
15 }
16
17 // Payment processing
18 if (is_valid_money(money_inserted_current)) {
19     money_paid_accumulated += money_inserted_current;
20
21     if (money_paid_accumulated < total_payable) {
22         uint32_t remaining = total_payable -
23             money_paid_accumulated;
24         // Display remaining amount
25     } else {
26         uint32_t change = money_paid_accumulated - total_payable;
27         // Payment complete, display change

```

```

27         status = THANKS;
28     }
29 } else {
30     payment_error_count++;
31     if (payment_error_count >= 5) {
32         status = INIT; // Abort transaction
33     } else {
34         status = PAYMENT_ERROR; // Retry
35     }
36 }
```

Listing 8: Xác thực Thanh toán

3.4.3 Thuật toán Lưu trữ Kho hàng

Đọc/ghi Flash với xác thực:

```

1 void Store_SaveToFlash(void) {
2     // 1. Unlock Flash
3     HAL_FLASH_Unlock();
4
5     // 2. Erase page
6     FLASH_EraseInitTypeDef EraseInitStruct;
7     uint32_t PageError;
8     EraseInitStruct.TypeErase = FLASH_TYPEERASE_PAGES;
9     EraseInitStruct.PageAddress = FLASH_ADDR_PAGE_63;
10    EraseInitStruct.NbPages = 1;
11    HAL_FLASHEx_Erase(&EraseInitStruct, &PageError);
12
13    // 3. Write magic number
14    HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
15                      FLASH_ADDR_PAGE_63,
16                      MAGIC_NUMBER);
17
18    // 4. Write data array
19    uint32_t *pData = (uint32_t*)skt_skins;
20    uint32_t numWords = sizeof(skt_skins) / 4;
21
22    for (uint32_t i = 0; i < numWords; i++) {
23        uint32_t address = FLASH_ADDR_PAGE_63 + 4 + (i * 4);
24        HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD, address, pData[i]);
25    }
26
27    // 5. Lock Flash
28    HAL_FLASH_Lock();
29 }
30
31 void init(void) {
32     uint32_t stored_magic = *(_IO uint32_t*)FLASH_ADDR_PAGE_63;
33
34     if (stored_magic == MAGIC_NUMBER) {
```

```

35     // Valid data exists: Load from Flash
36     uint32_t *pFlashData = (uint32_t*)(FLASH_ADDR_PAGE_63 + 4)
37     ;
38     uint32_t *pRamData = (uint32_t*)skt_skins;
39     uint32_t numWords = sizeof(skt_skins) / 4;
40
41     for (uint32_t i = 0; i < numWords; i++) {
42         pRamData[i] = pFlashData[i];
43     }
44 } else {
45     // First boot: Initialize defaults
46     skt_skins[0] = (Skin){1, "SKT Jax", "Impact", 9, 20000};
47     // ... initialize 15 more products ...
48     Store_SaveToFlash();
49 }

```

Listing 9: Các hoạt động Bộ nhớ Flash

3.4.4 Thuật toán Xác thực Quản trị

Xác minh mật khẩu với thời gian chờ:

```

1 const char password[] = "070596";
2 #define MAX_INPUT 6
3
4 int admin_log(void) {
5     char input[MAX_INPUT + 1] = {0};
6     int len = 0;
7     uint32_t last_tick = HAL_GetTick();
8
9     lcd_clear();
10    lcd_write_string("ENTER PASSWORD");
11
12    while (1) {
13        // 10-second timeout
14        if (HAL_GetTick() - last_tick > 10000) {
15            return 0; // Timeout
16        }
17
18        char c = Keypad_Scan();
19        if (c == 0) continue;
20
21        last_tick = HAL_GetTick(); // Reset timeout
22
23        if (c >= '0' && c <= '9') {
24            if (len < MAX_INPUT) {
25                input[len++] = c;
26                lcd_write_char('*'); // Masked display
27
28                if (len == MAX_INPUT) {
29                    HAL_Delay(200);

```

```

30         return (strcmp(password, input) == 0) ? 1 : 0;
31     }
32 }
33 } else if (c == '*') { // Backspace
34     if (len > 0) {
35         len--;
36         input[len] = '\0';
37         // Clear last asterisk
38     } else {
39         return 0; // Quick exit
40     }
41 }
42 HAL_Delay(100); // Debouncing
43 }
44 }
45 }
```

Listing 10: Xác minh Mật khẩu Quản trị

3.5 Tổ chức Mã nguồn và Tính Mô-đun

3.5.1 Cấu trúc Mô-đun

Phần mềm tuân theo kiến trúc mô-đun với sự phân tách rõ ràng các mối quan tâm:

Bảng 3: Các Mô-đun Phần mềm

Mô-đun	Trách nhiệm
main.c	Điểm vào, khởi tạo ngoại vi, vòng lặp chính
fsm_vm.c/h	Logic máy trạng thái hữu hạn, chuyển đổi trạng thái, quy tắc nghiệp vụ
store.c/h	Quản lý dữ liệu kho hàng, hoạt động đọc/ghi Flash
keypad.c/h	Quét bàn phím ma trận, chống rung, ánh xạ ký tự
sensor.c/h	Kích hoạt cảm biến siêu âm, đo khoảng cách
tv_lcd_i2c.c/h	Điều khiển hiển thị LCD, giao tiếp I2C, định dạng văn bản
i2c.c/h	Hiện thực giao thức I2C bit-banged
timer.c/h	Quản lý bộ định thời phần mềm, xử lý thời gian chờ
ADMIN.c/h	Xác thực quản trị, xác minh mật khẩu

3.5.2 Phụ thuộc Mô-đun

Phân cấp phụ thuộc (từ trên xuống dưới):

main.c

- fsm_vm.c
- store.c (Flash operations)
- keypad.c (user input)
- sensor.c (customer detection)
- tv_lcd_i2c.c (display)

- i2c.c (communication protocol)
- timer.c (timeouts)
- ADMIN.c (authentication)

Cấu trúc phân cấp này giảm thiểu sự phụ thuộc vòng tròn và tạo điều kiện thuận lợi cho kiểm thử đơn vị.

4 Hiện thực

4.1 Hiện thực Trình điều khiển Ngoại vi

Trình điều khiển LCD I2C: Trình điều khiển LCD hiện thực chế độ giao tiếp 4-bit qua giao thức I2C bit-banged. Cách tiếp cận này được chọn thay vì I2C phần cứng để duy trì khả năng tương thích với các bo mạch chuyển đổi PCF8574 khác nhau và cung cấp khả năng kiểm soát thời gian tốt hơn.

Các hàm Giao thức I2C: .

```

1 void I2C_Start(void) {
2     // START condition: SDA high to low while SCL high
3     HAL_GPIO_WritePin(I2C_SDA_PORT, I2C_SDA_PIN, GPIO_PIN_SET);
4     HAL_GPIO_WritePin(I2C_SCL_PORT, I2C_SCL_PIN, GPIO_PIN_SET);
5     delay_us(5);
6     HAL_GPIO_WritePin(I2C_SDA_PORT, I2C_SDA_PIN, GPIO_PIN_RESET);
7     delay_us(5);
8     HAL_GPIO_WritePin(I2C_SCL_PORT, I2C_SCL_PIN, GPIO_PIN_RESET);
9 }
10
11 void I2C_Write(uint8_t data) {
12     for (int i = 0; i < 8; i++) {
13         // Write MSB first
14         if (data & 0x80) {
15             HAL_GPIO_WritePin(I2C_SDA_PORT, I2C_SDA_PIN,
16                               GPIO_PIN_SET);
17         } else {
18             HAL_GPIO_WritePin(I2C_SDA_PORT, I2C_SDA_PIN,
19                               GPIO_PIN_RESET);
20         }
21         delay_us(5);
22         HAL_GPIO_WritePin(I2C_SCL_PORT, I2C_SCL_PIN, GPIO_PIN_SET)
23         ;
24         delay_us(5);
25         HAL_GPIO_WritePin(I2C_SCL_PORT, I2C_SCL_PIN,
26                           GPIO_PIN_RESET);
27         data <<= 1;
28     }
29 }
```

Listing 11: Hiện thực I2C Bit-Banged

Các hàm Chế độ LCD 4-Bit:

```

1 void LCD_Send4Bit(unsigned char Data) {
2     data_MASK &= 0x0F; // Clear upper 4 bits
3     // Map data bits to PCF8574 pins P4-P7
4     data_MASK |= (Data & 0x01) << 4;
5     data_MASK |= (Data & 0x02) << 4;
6     data_MASK |= (Data & 0x04) << 4;
7     data_MASK |= (Data & 0x08) << 4;
8 }
9
10 void LCD_Send1Byte(unsigned char byte) {
11     LCD_Send4Bit(byte >> 4); // Send upper nibble
12     LCD_Enable(); // Pulse enable
13     LCD_Send4Bit(byte); // Send lower nibble
14     LCD_Enable(); // Pulse enable
15 }
16
17 void LCD_Enable(void) {
18     data_MASK |= LCD_EN; // Set enable bit
19     for(int i=0; i<50; i++) __NOP();
20     PCD8574_write(data_MASK);
21     data_MASK &= ~LCD_EN; // Clear enable bit
22     for(int i=0; i<100; i++) __NOP();
23     PCD8574_write(data_MASK);
24 }
```

Listing 12: Các hàm Giao tiếp LCD

Trình tự Khởi tạo LCD:

```

1 void lcd_init(uint8_t addr) {
2     LCDI2C_ADDR = addr;
3
4     // Power-on delay
5     HAL_Delay(50);
6
7     // 8-bit mode initialization sequence
8     LCD_Send4Bit(0x03);
9     LCD_Enable();
10    HAL_Delay(5);
11    LCD_Enable();
12    HAL_Delay(5);
13    LCD_Enable();
14
15    // Switch to 4-bit mode
16    LCD_Send4Bit(0x02);
17    LCD_Enable();
18
19    // Function set: 4-bit, 2 lines, 5x8 font
20    LCD_Send1Byte(0x28);
21 }
```

```

22 // Display control: Display on, cursor off
23 LCD_Send1Byte(0x0C);
24
25 // Entry mode: Increment cursor, no shift
26 LCD_Send1Byte(0x06);
27
28 lcd_clear();
29 }

```

Listing 13: Khởi tạo LCD

Trình điều khiển Bàn phím Trình điều khiển bàn phím hiện thực quét hàng với chống rung:

```

1 char Keypad_Scan(void) {
2     // Key mapping array
3     static const char keymap[4][4] = {
4         {'1', '2', '3', 'U'},
5         {'4', '5', '6', 'D'},
6         {'7', '8', '9', 'L'},
7         {'*', '0', '#', 'R'}
8     };
9
10    for (int r = 0; r < 4; r++) {
11        // Set all rows HIGH
12        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA,
13                         GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1 |
14                         GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3,
15                         GPIO_PIN_SET);
16
17        // Pull current row LOW
18        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, row_pins[r], GPIO_PIN_RESET);
19        HAL_Delay(1);
20
21        // Read all columns
22        for (int c = 0; c < 4; c++) {
23            if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c]) ==
24                GPIO_PIN_RESET) {
25                // Key pressed detected
26                HAL_Delay(20); // Debounce delay
27
28                // Confirm key still pressed
29                if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c]) ==
30                    GPIO_PIN_RESET) {
31                    // Wait for key release
32                    while (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, col_pins[c])
33                           == GPIO_PIN_RESET);
34
35                    return keymap[r][c];
36                }
37            }
38        }
39    }
40 }

```

```

36         }
37     }
38     return 0; // No key pressed
39 }
```

Listing 14: Hiện thực Quét Bàn phím

Trình điều khiển Cảm biến Siêu âm Trình điều khiển cảm biến sử dụng bộ định thời bắt tín hiệu đầu vào để đo thời gian phản hồi của xung siêu âm. Quá trình đo bao gồm kích hoạt xung Trigger và đo độ rộng xung Echo sử dụng ngắt Input Capture.

```

1 void Sensor_Trigger(void) {
2     HAL_GPIO_WritePin(TRIG_PORT, TRIG_PIN, GPIO_PIN_SET);
3     delay_us(10);
4     HAL_GPIO_WritePin(TRIG_PORT, TRIG_PIN, GPIO_PIN_RESET);
5     __HAL_TIM_ENABLE_IT(&htim1, TIM_IT_CC1);
6 }
7
8 void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim) {
9     if (htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1) {
10         if (Is_First_Captured==0) {
11             IC_Val1 = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim,
12                                                 TIM_CHANNEL_1);
13             Is_First_Captured = 1;
14             __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_1,
15                                           TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_FALLING
16                                           );
17         }
18         else if (Is_First_Captured==1) {
19             IC_Val2 = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim,
20                                                 TIM_CHANNEL_1);
21             __HAL_TIM_SET_COUNTER(htim, 0);
22
23             if (IC_Val2 > IC_Val1)
24                 Difference = IC_Val2-IC_Val1;
25             else
26                 Difference = (0xffff - IC_Val1) + IC_Val2;
27
28             Distance = Difference * .034/2;
29             Is_First_Captured = 0;
30
31             __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_1,
32                                           TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING
33                                           );
34         }
35     }
36 }
```

Listing 15: Đo khoảng cách với HC-SR04

4.2 Chi tiết Hiện thực Máy trạng thái

Hiện thực các Trạng thái quan trọng:

Trạng thái CHOOSING_SKIN: .

```

1 case CHOOSING_SKIN:
2 {
3     if (timeout_timer_flag == 1) {
4         status = INIT;
5         fsm_init();
6         break;
7     }
8
9     char key = Keypad_Scan();
10    if (key != 0) {
11        settimeoutTimer(30000); // Reset 30s timeout
12
13        if (key == 'U') {
14            current_id--;
15            if (current_id < 1) current_id = 16; // Wrap around
16            display_current_skin(current_id);
17        }
18        else if (key == 'D') {
19            current_id++;
20            if (current_id > 16) current_id = 1; // Wrap around
21            display_current_skin(current_id);
22        }
23        else if (key == '#') {
24            status = DISPLAY_INFO;
25            lcd_clear();
26            display_skin_detail(current_id);
27        }
28        else if (key == 'R') {
29            int is_admin = admin_log();
30            if (is_admin) {
31                status = ADMIN_MODE;
32                // Display admin success message
33            }
34        }
35    }
36 }
37 break;

```

Listing 16: Trạng thái Chọn Sản phẩm

Trạng thái PAYMENT_INPUT: Trạng thái này xử lý việc nhập tiền từ người dùng, công dồn số tiền đã trả và kiểm tra xem đã đủ để thanh toán chưa.

```

1 case PAYMENT_INPUT:
2 {
3     if (timeout_timer_flag == 1) {

```

```

4         // Timeout handling...
5         break;
6     }

7
8     char key = Keypad_Scan();
9     if (key != 0) {
10        setTimeoutTimer(30000);

11        if (key >= '0' && key <= '9') {
12            // Accumulate input amount
13            if (money_inserted_current < 1000000000) {
14                money_inserted_current = money_inserted_current *
15                    10 + (key - '0');
16                display_payment_input();
17            }
18        }
19        else if (key == '#') {
20            if (!is_valid_money(money_inserted_current)) {
21                payment_error_count++;
22                // Error handling...
23            }
24        else {
25            money_paid_accumulated += money_inserted_current;

26            if (money_paid_accumulated < total_payable) {
27                status = PAYMENT_INFO_WAIT;
28                // Show remaining amount
29            }
30            else {
31                status = PAYMENT_INFO_WAIT;
32                // Show change and success
33            }
34        }
35    }
36 }
37 }
38 }
39 break;

```

Listing 17: Xử lý Thanh toán

Trạng thái ADMIN_MODE: Chế độ quản trị cho phép người dùng có thẩm quyền thay đổi thông tin sản phẩm.

```

1 case CHOOSING_SKIN_TO_ADJUST:
2 {
3     if (timeout_timer_flag == 1) {
4         status = TIMEOUT_ADMIN_MODE;
5         break;
6     }
7
8     char key = Keypad_Scan();

```

```

9   if (key != 0) {
10     setTimeOutTimer(60000);
11
12     if (key == 'U') {
13       current_id--;
14       if (current_id < 1) current_id = 16;
15       display_current_skin(current_id);
16     }
17     else if (key == 'D') {
18       current_id++;
19       if (current_id > 16) current_id = 1;
20       display_current_skin(current_id);
21     }
22     else if (key == '#') {
23       status = ADJUST_QUANTITY_AND_PRICE;
24       lcd_clear();
25       display_adjust_quantity_and_price(current_id, 0);
26     }
27   }
28 }
29 break;
30 \end{lstlisting}
31   if (key == 'U') {
32     current_id--;
33     if (current_id < 1) current_id = 16; // Wrap around
34     display_current_skin(current_id);
35   }
36   else if (key == 'D') {
37     current_id++;
38     if (current_id > 16) current_id = 1; // Wrap around
39     display_current_skin(current_id);
40   }
41   else if (key == '#') {
42     status = DISPLAY_INFO;
43     lcd_clear();
44     display_skin_detail(current_id);
45   }
46   else if (key == 'R') {
47     int is_admin = admin_log();
48     if (is_admin) {
49       status = ADMIN_MODE;
50       // Display admin success message
51     }
52   }
53 }
54 break;

```

Listing 18: Chế độ Quản trị

4.3 Quản lý Hiển thị và Xử lý Lỗi

Hệ thống sử dụng các hàm định dạng văn bản để căn giữa nội dung trên màn hình LCD 16x2. Cơ chế xử lý lỗi bao gồm xác thực đầu vào (số lượng, mệnh giá tiền) và giới hạn số lần nhập sai liên tiếp để ngăn chặn hành vi spam hoặc lỗi hệ thống.

4.4 Tối ưu hóa Hiệu năng

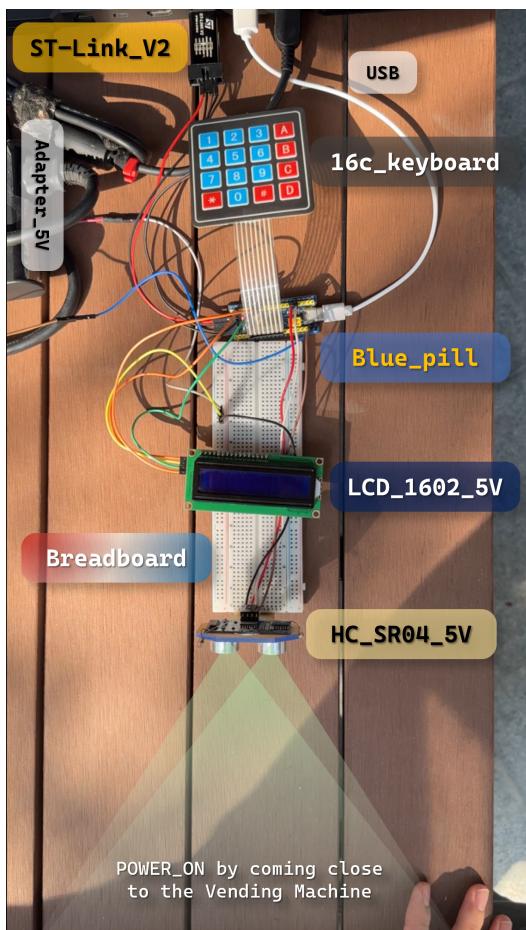
Để đảm bảo hiệu năng thời gian thực, hệ thống áp dụng các kỹ thuật tối ưu hóa như:

- Chỉ cập nhật màn hình LCD khi nội dung thay đổi.
- Sử dụng ngắt SysTick 1ms duy nhất cho tất cả các bộ định thời phần mềm.
- Giảm thiểu số lần ghi vào bộ nhớ Flash bằng cách kiểm tra sự thay đổi dữ liệu trước khi ghi.

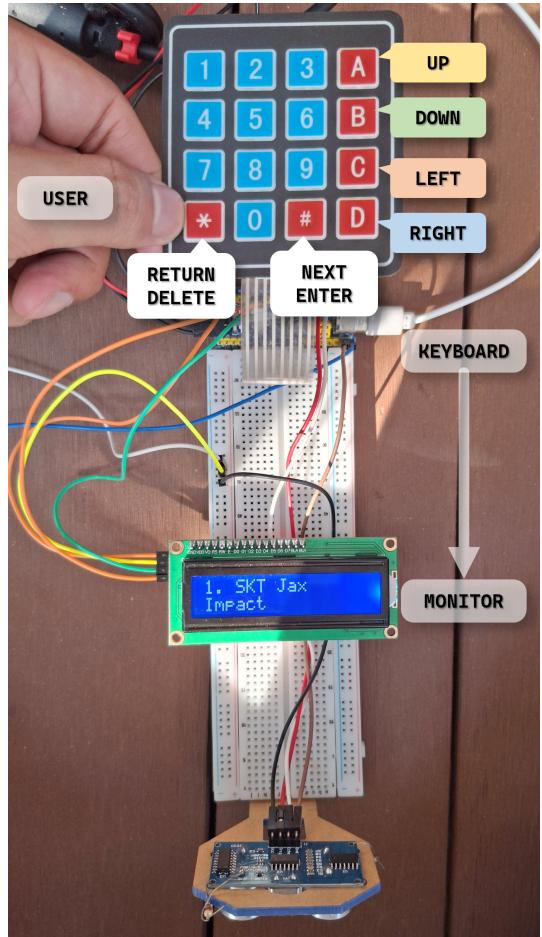
5 Trình diễn

Phần này trình bày các quy trình kiểm thử, kết quả vận hành và phân tích hiệu năng của hệ thống máy bán hàng tự động.

Xem thêm video trình diễn tại: <https://youtu.be/EFUxOFmGWq4?si=UAjL1COVcYWAQK1N>



(a) Demo vận hành hệ thống



(b) Demo vận hành hệ thống

Hình 5: Trình diễn vận hành Máy bán hàng tự động

Tất cả các đường dẫn lỗi được kiểm thử thành công:

- Đầu vào số lượng không hợp lệ bị từ chối chính xác và nhắc thử lại
- Số tiền thanh toán không hợp lệ kích hoạt thông báo lỗi và cho phép sửa chữa
- Điều kiện hết hàng ngăn chặn mua hàng và hướng dẫn người dùng đến các lựa chọn thay thế
- Các kịch bản thời gian chờ đưa hệ thống về trạng thái an toàn
- Chế độ quản trị tự động đăng xuất hoạt động chính xác sau 60 giây không hoạt động
- Thực thi giới hạn 5 lỗi ngăn chặn vòng lặp thử lại vô hạn

6 Kết luận

6.1 Thành tựu Dự án

Dự án này đã thiết kế và hiện thực thành công một hệ thống máy bán hàng tự động toàn diện sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6. Hệ thống hoàn chỉnh thể hiện ứng dụng thực tế của các khái niệm hệ thống nhúng và đạt được tất cả các mục tiêu chính:

- **Tích hợp Phần cứng Hoàn chỉnh:** Giao tiếp thành công vi điều khiển với màn hình LCD, bàn phím ma trận, cảm biến siêu âm và bộ nhớ Flash, tạo ra một hệ thống nhúng đầy đủ chức năng.
- **Hiện thực Máy trạng thái Mạnh mẽ:** Phát triển một FSM 19 trạng thái quản lý các luồng giao dịch phức tạp, xử lý lỗi và các chức năng quản trị với hành vi xác định.
- **Lưu trữ Dữ liệu Bền vững:** Hiện thực lưu trữ không bay hơi sử dụng bộ nhớ Flash nội với xác thực số ma thuật, đảm bảo dữ liệu kho hàng tồn tại qua các chu kỳ nguồn.
- **Trình điều khiển Ngoại vi Tùy chỉnh:** Tạo các trình điều khiển hiệu quả cho giao tiếp LCD I2C bit-banged, quét bàn phím chống rung và đo khoảng cách siêu âm dựa trên bộ định thời.
- **Xử lý Lỗi Toàn diện:** Hiện thực xác thực đầu vào, quản lý thời gian chờ, bộ đếm lỗi và cơ chế phục hồi đảm bảo độ tin cậy của hệ thống và hoạt động thân thiện với người dùng.
- **Tự động Phát hiện Khách hàng:** Đạt được hoạt động tự chủ với phát hiện sự hiện diện của khách hàng dựa trên cảm biến siêu âm và lọc nhiễu 3 giây.
- **Quản trị An toàn:** Cung cấp chế độ quản trị được bảo vệ bằng mật khẩu với bảo mật dựa trên thời gian chờ cho quản lý kho hàng.

6.2 Ứng dụng Thực tế

Mặc dù được phát triển như một dự án giáo dục, hệ thống thể hiện các khái niệm áp dụng cho máy bán hàng tự động thương mại và tự động hóa bán lẻ:

- Tự động phát hiện khách hàng giảm tiêu thụ năng lượng
- Theo dõi kho hàng cho phép trí tuệ kinh doanh
- Xử lý lỗi đảm bảo hoạt động liên tục
- Chế độ quản trị hỗ trợ bảo trì tại hiện trường
- Thiết kế mô-đun tạo thuận lợi cho mở rộng tính năng

Kiến trúc có thể được thích ứng cho các kịch bản bán lẻ tự động khác nhau bao gồm máy bán hàng truyền thống, ki-ốt bán vé, hệ thống cho thuê và tủ khóa thông minh.

7 Thông tin Dự án

7.1 GitHub repository

Mã nguồn dự án, tài liệu và tài nguyên có sẵn tại:

- **GitHub:** <https://github.com/1172005thinh/VendingMachine>
- **Source code** Thư mục VendingMachine/ chứa tất cả các tệp nguồn
- **Tài liệu:** README.md với hướng dẫn thiết lập

7.2 Tác giả

Tên	Đóng góp
Nguyễn Hưng Thịnh	<ul style="list-style-type: none"> • Tích hợp phần cứng và thiết kế mạch • Kiểm thử và gỡ lỗi hệ thống • Chuẩn bị tài liệu • Quản lý dự án và phối hợp nhóm • Quay video trình diễn và soạn thảo báo cáo cuối cùng
Lê Thế Lộc	<ul style="list-style-type: none"> • Phát triển trình điều khiển bàn phím • Hệ thống quản lý kho hàng • Các hoạt động bộ nhớ Flash • Thiết kế kiến trúc hệ thống • Phát triển trình điều khiển cảm biến
Trần Doãn Hoàng Lâm	<ul style="list-style-type: none"> • Thiết kế và hiện thực máy trạng thái hữu hạn • Hiện thực hệ thống bộ định thời • Thiết kế giao diện người dùng • Thực hiện, soạn kịch bản trình diễn

7.3 Lời cảm ơn

Các tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đến:

- Thầy Nguyễn Thành Lộc đã hướng dẫn các nguyên tắc thiết kế hệ thống luận lý
- Cộng đồng mã nguồn mở về các ví dụ mã và hỗ trợ khắc phục sự cố