**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ**

**BỘ MÔN ĐIỆN TỬ**



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN**

**THIẾT KẾ HỆ THỐNG NHÚNG**

**HỆ THỐNG CẢNH BÁO AN TOÀN TRONG HẦM MỎ**

**GVHD: ThS. Bùi Quốc Bảo**

**SV thực hiện**

|  |  |
| --- | --- |
| **Họ và tên** | **MSSV** |
| Nguyễn Thị Hải Yến | 2310499 |
| Nguyễn Tấn Duy |  |

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 10 năm 2025

**Lời nói đầu**

**Tổng quan**

# **Chương 1: Giới thiệu (introduction)**

**1.1 Vấn đề**

Trong môi trường hầm mỏ, an toàn lao động luôn là yếu tố sống còn. Các sự cố do khí độc (CH₄, CO, CO₂), thiếu oxy, hay thay đổi áp suất – nhiệt độ bất thường có thể dẫn đến cháy nổ, ngạt khí hoặc thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản.

Hiện nay, việc giám sát môi trường trong hầm mỏ chủ yếu dựa vào thiết bị đo đơn lẻ hoặc kiểm tra thủ công, dẫn đến thiếu tính liên tục, chậm phản hồi, và khó cảnh báo sớm. Ngoài ra, các hệ thống giám sát công nghiệp hiện có thường cồng kềnh, chi phí cao và khó triển khai trong quy mô nhỏ hoặc khu vực thử nghiệm.

Do đó, cần có một hệ thống cảnh báo an toàn tích hợp có khả năng:

* Theo dõi đồng thời nhiều yếu tố môi trường (khí độc, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm);
* Phản ứng kịp thời khi phát hiện dấu hiệu bất thường;
* Truyền dữ liệu về trung tâm giám sát để hỗ trợ xử lý và ghi nhận lịch sử.

Đây là nhu cầu thực tiễn cho các khu vực khai thác mỏ quy mô vừa và nhỏ, nơi điều kiện thông gió, độ ẩm, và mật độ khí dễ biến động theo thời gian.

**1.2 Mục tiêu**

Đề tài hướng đến thiết kế và xây dựng một hệ thống cảnh báo an toàn trong hầm mỏ có khả năng hoạt động ổn định, chính xác và chi phí hợp lý.

Các mục tiêu cụ thể gồm:

1. Phát triển mô hình hệ thống nhúng có khả năng:

* Thu thập dữ liệu môi trường (nồng độ khí độc, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm);
* Phân loại trạng thái thành ba mức: Bình thường – Cảnh báo – Nguy hiểm;
* Phát cảnh báo cục bộ bằng còi/đèn và gửi thông tin đến trung tâm giám sát.
* Tích hợp các cảm biến môi trường trên cùng một nền tảng vi điều khiển, đảm bảo khả năng mở rộng và bảo trì dễ dàng.

1. Xây dựng phần mềm điều khiển và xử lý dữ liệu, cho phép:

* Giám sát liên tục theo thời gian thực;
* Cấu hình ngưỡng cảnh báo linh hoạt;
* Gửi dữ liệu qua UART tới máy chủ;

1. Đảm bảo hệ thống đáp ứng các tiêu chí an toàn, bao gồm:

* Phản hồi nhanh khi có biến động môi trường;
* Hoạt động ổn định trong điều kiện khắc nghiệt của hầm mỏ (bụi, ẩm, rung);
* Tiêu thụ năng lượng thấp, phù hợp cho vận hành dài hạn.

# **Chương 2: Yêu cầu (requirement)**

**2.1. Yêu cầu kỹ thuật**

***2.1.1. Yêu cầu chức năng (FR: functional requirements)***

**FR1** – Thu nhận dữ liệu cảm biến

FR1.1: Hệ thống phải đọc tín hiệu từ cảm biến môi trường để đo nồng độ khí độc hại.

FR1.2: Hệ thống phải đọc dữ liệu từ cảm biến số để xác định được nhiệt độ và áp suất.

FR1.3: Dữ liệu cảm biến phải được lấy mẫu định kỳ với chu kỳ không vượt quá 2 giây.

**FR2** – Phân loại và đánh giá mức nguy hiểm

FR2.1: Hệ thống phải phân loại dữ liệu đầu vào thành ba mức: Normal, Warning, Danger.

FR2.2: Mức Warning được kích hoạt khi giá trị đo vượt ngưỡng cảnh báo.

FR2.3: Mức Danger được kích hoạt khi giá trị đo vượt ngưỡng nguy hiểm.

**FR3** – Cảnh báo cục bộ

FR3.1: Khi ở mức Warning, hệ thống phải kích hoạt còi ở âm lượng trung bình.

FR3.2: Khi ở mức Danger, hệ thống phải kích hoạt còi ở âm lượng cực đại.

FR3.3: Âm báo cảnh báo phải được dừng tự động khi giá trị trở lại mức Normal.

**FR4** – Truyền dữ liệu

FR4.1: Hệ thống phải gửi gói tin cảnh báo tới máy chủ qua giao tiếp.

FR4.2: Gói tin phải chứa ID thiết bị, loại cảm biến, giá trị đo và mức cảnh báo.

FR4.3: Độ trễ truyền dữ liệu ≤ 2 giây kể từ khi phát hiện sự kiện.

**FR5** – Khả năng mở rộng và bảo trì

FR5.1: Hệ thống phải cho phép thay thế cảm biến khác mà không cần thay đổi lớn trong phần mềm.

FR5.2: Cấu trúc phần mềm phải module-hóa để dễ thêm cảm biến hoặc phương thức truyền thông mới.

***2.1.2 Yêu cầu phần mềm (SR: software requirements)***

**SR1** – Xử lý và điều khiển

SR1.1: Bộ xử lý sử dụng MCU có hỗ trợ các giao thức cần thiết để giao tiếp với các cảm biến và truyền dữ liệu đến máy chủ

SR1.2: Chương trình phải thực thi theo kiến trúc real-time, ưu tiên các tác vụ cảm biến và cảnh báo.

SR1.3: Mã nguồn phải được viết bằng ngôn ngữ C tiêu chuẩn, có comment và version control rõ ràng.

***2.1.3. Yêu cầu phần cứng (HS: hardware requirements)***

**HR1** – Nguồn và năng lượng

HR1.1: Nguồn cấp 12 V, có mạch hạ áp xuống 3.3 V.

HR1.2: Mạch phải có bảo vệ quá áp và quá dòng.

HR1.3: Công suất tiêu thụ ≤ 2 W ở chế độ hoạt động liên tục.

**HR2** – Cảm biến và phạm vi đo

HR2.1: Cảm biến khí và môi trường phải đo được nồng độ khí độc trong phạm vi 0 – 1000 ppm và độ chính xác sai số không vượt quá ±5%.

HR2.2: Cảm biến áp suất phải hoạt động trong dải 300 – 1100 hPa, sai số đo không vượt quá ±1 hPa.

HR2.3: Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm phải hoạt động ổn định trong khoảng 0 – 60 °C và 25 – 80 % RH.

HR2.4: Tất cả cảm biến phải có thời gian đáp ứng (response time) nhỏ hơn 30 giây kể từ khi môi trường thay đổi.

HR2.5: Cảm biến phải chịu được môi trường hầm mỏ có bụi và độ ẩm cao, bảo đảm tuổi thọ vận hành tối thiểu 1 năm trong điều kiện chuẩn.

HR2.6: Các cảm biến phải có hiệu chuẩn định kỳ, với độ trôi tín hiệu nhỏ hơn 2 %/tháng trong điều kiện hoạt động liên tục.

**HR3** – Cảnh báo và hiển thị

HR3.1: Còi cảnh báo có hai mức âm lượng trung bình và to

**HR4** – Thiết kế PCB

HR4.1: Đường tín hiệu và nguồn phải tránh góc 90°, sử dụng góc 45° hoặc 135°.

HR4.2: Các khối nguồn, cảm biến và xử lý phải được tách lớp, giảm cann nhiễu.

HR4.3: Bố trí tụ tách nhiễu gần các IC nguồn và MCU.

HR4.4: Via và lỗ bắt vít phải đảm bảo điện trở thấp và tiếp đất tốt.

**2.2. Yêu cầu phi chức năng**

**NFR1** – Hiệu năng

NFR1.1: Thời gian phản hồi của hệ thống ≤ 200 ms.

NFR1.2: Hệ thống phải hoạt động ổn định liên tục ≥ 8 giờ trong môi trường thử nghiệm.

**NFR2** – Độ tin cậy và bảo mật

NFR2.1: Hệ thống phải hoạt động an toàn trong dải nhiệt độ 0 – 60 °C và độ ẩm 25–80 %.

NFR2.2: Dữ liệu truyền qua mạng phải được kiểm tra.

**NFR3** – Kích thước và hình thức

NFR3.1: Kích thước toàn bộ hệ thống ≤ 15 × 10 × 6 cm.

NFR3.2: Thiết kế cơ khí phải có khe thoáng khí và vỏ chống bụi (IP > 50).

**NFR4** – Chi phí và sản xuất

NFR4.1: Chi phí BOM (chỉ linh kiện) < 500.000 / thiết bị khi sản xuất hàng loạt.

NFR4.2: Sử dụng linh kiện phổ thông, dễ thay thế tại Việt Nam.

# **Chương 3: Cơ sở lý thuyết (background)**

**3.1. Vi điều khiển STM32**

**3.2. Cảm biến môi trường (MQ4,MQ7)**

**3.3. Cảm biến nhiệt độ, áp suất, độ ẩm**

# **Chương 4: Thiết kế (design)**

**4.1. Use cases**

4.1.2. Bảng use case

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Use Case ID** | **Mô tả** | **Tác nhân** | **Kết quả** |
| UC-1 | Đọc dữ liệu cảm biến | Hệ thống | Có dữ liệu thô sẵn sàng xử lý |
| UC-2 | Phân loại mức (Normal/Warning/Danger) | Hệ thống | Gán trạng thái cho từng cảm biến |
| UC-3 | Phát cảnh báo Warning | Còi | Âm thanh mức thường + gói tin Warning |
| UC-4 | Phát cảnh báo Danger | Còi | Âm thanh cực đại + gói tin Danger |
| UC-5 | Gửi dữ liệu lên máy chủ | Hệ thống ↔ PC/Cloud | Gói tin xuất hiện trong ≤ 2s |
| UC-6 | Tự kiểm tra khi khởi động | Người vận hành | Báo PASS/FAIL từng thành phần |
| UC-7 | Cấu hình ngưỡng | Người vận hành | Ngưỡng mới được áp dụng |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Read Sensor Data (Đọc dữ liệu cảm biến)** |
| **Use Case ID** | UC-1 |
| **Scope** | Embedded monitoring system – đọc dữ liệu analog từ MQ-4, MQ-7, BME280 qua ADC/I²C. |
| **Primary Actor(s)** | System (MCU) |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành cần dữ liệu thô để phân tích nồng độ khí. |
| **Preconditions** | Các cảm biến đã được cấp nguồn và khởi tạo thành công; ADC/I²C hoạt động bình thường. |
| **Postconditions** | Dữ liệu thô (raw data) của từng cảm biến được lưu trong đọc và sẵn sàng xử lý |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Classify Level (Phân loại mức Normal/Warning/Danger)** |
| **Use Case ID** | UC-2 |
| **Scope** | Software logic – xác định trạng thái dựa vào giá trị ngưỡng. |
| **Primary Actor(s)** | System |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành muốn biết trạng thái an toàn của môi trường. |
| **Preconditions** | Dữ liệu cảm biến hợp lệ đã được đọc thành công. |
| **Postconditions** | Mỗi cảm biến được gán trạng thái tương ứng: *Normal*, *Warning*, hoặc *Danger*. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Trigger Warning Alert (Phát cảnh báo Warning)** |
| **Use Case ID** | UC-3 |
| **Scope** | Hardware + software – kích hoạt còi ở mức trung bình, gửi gói tin cảnh báo. |
| **Primary Actor(s)** | Buzzer |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành được cảnh báo sớm khi mức khí vượt ngưỡng an toàn. |
| **Preconditions** | Trạng thái hệ thống = Warning. |
| **Postconditions** | Còi phát âm thanh mức vừa; gói tin “Warning” được gửi đi. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Trigger Danger Alert (Phát cảnh báo Danger)** |
| **Use Case ID** | UC-4 |
| **Scope** | Hardware + communication – cảnh báo khẩn cấp. |
| **Primary Actor(s)** | Buzzer |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành cần được thông báo tức thời khi mức khí nguy hiểm. |
| **Preconditions** | Trạng thái hệ thống = Danger. |
| **Postconditions** | Còi kêu cực đại; gói tin “Danger” được phát đi trong vòng 1 giây. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Send Data to Server (Gửi dữ liệu lên máy chủ)** |
| **Use Case ID** | UC-5 |
| **Scope** | Communication module – truyền dữ liệu qua UART |
| **Primary Actor(s)** | System ↔ PC |
| **Stakeholders and Interests** | Người giám sát cần nhận dữ liệu trong thời gian thực. |
| **Preconditions** | Kết nối truyền thông đã sẵn sàng, dữ liệu đã được đóng gói. |
| **Postconditions** | Gói dữ liệu xuất hiện trên máy chủ trong ≤ 2 giây. |

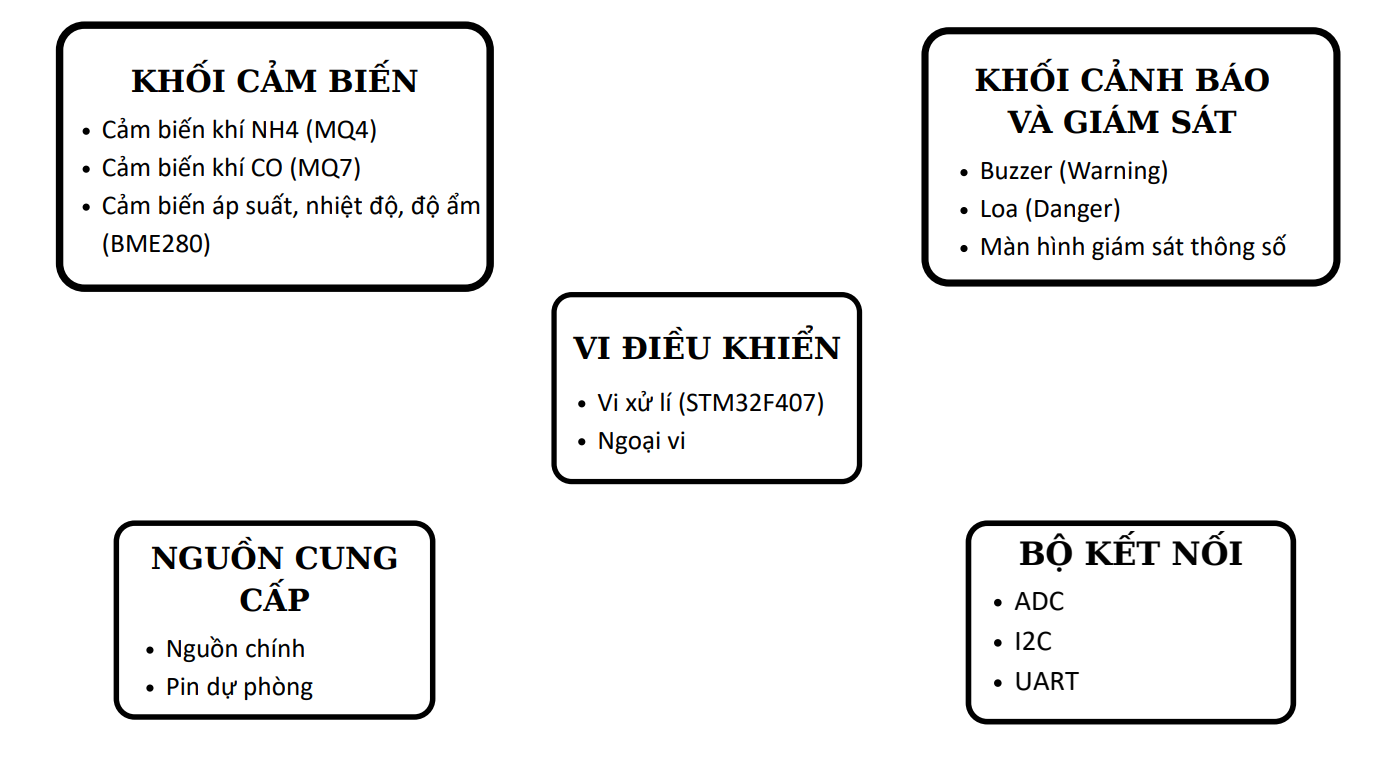
|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Self-test at Startup (Tự kiểm tra khi khởi động)** |
| **Use Case ID** | UC-6 |
| **Scope** | System diagnostics – kiểm tra các thành phần cảm biến, ADC, hiển thị, còi. |
| **Primary Actor(s)** | Operator (Người vận hành) |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành cần biết tình trạng hoạt động của thiết bị. |
| **Preconditions** | Thiết bị vừa cấp nguồn, chưa vào chế độ hoạt động. |
| **Postconditions** | Báo cáo PASS/FAIL cho từng thành phần được hiển thị. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Use Case Name** | **Set Thresholds (Cấu hình ngưỡng)** |
| **Use Case ID** | UC-7 |
| **Scope** | Configuration interface – thay đổi ngưỡng so sánh qua nút nhấn hoặc phần mềm. |
| **Primary Actor(s)** | Operator |
| **Stakeholders and Interests** | Người vận hành muốn tùy chỉnh ngưỡng phù hợp môi trường cụ thể. |
| **Preconditions** | Hệ thống ở chế độ cấu hình, nút hoặc giao diện hoạt động. |
| **Postconditions** | Ngưỡng mới được lưu và áp dụng cho các phép đo tiếp theo. |

4.1.3. Bảng truy vết use cases và requirements

**4.2. Thiết kế phần cứng**

4.2.1. Kiến trúc phần cứng



4.2.2. Sơ đồ bloc hệ thống

4.2.3. Schematic

4.2.4. PCB layout

**4.3. Lập trình phần mềm**

4.3.1. Đọc cảm biến BME280

4.3.2. Đọc cảm biến MQ4,MQ7

4.3.3. Lập trình lái ngõ ra ở loa

4.3.4. Lập trình truyền dữ liệu

# **Chương 5: Kết quả (result)**