**HỆ THỐNG AN TOÀN HẦM MỎ**

1. **TỔNG QUAN**

Dự án hướng tới việc xây dựng một hệ thống nhúng mô phỏng giám sát an toàn trong hầm mỏ. Hệ thống gồm các cảm biến giá rẻ để đo áp suất, nhiệt độ, độ ẩm và khí độc hại, vi điều khiển STM32 để xử lý tín hiệu và phân loại mức độ nguy hiểm theo ba cấp Normal – Warning – Danger. Khi vượt ngưỡng, loa được điều khiển bằng PWM để phát cảnh báo với âm lượng khác nhau, đồng thời dữ liệu được gửi về cloud để giám sát từ xa.

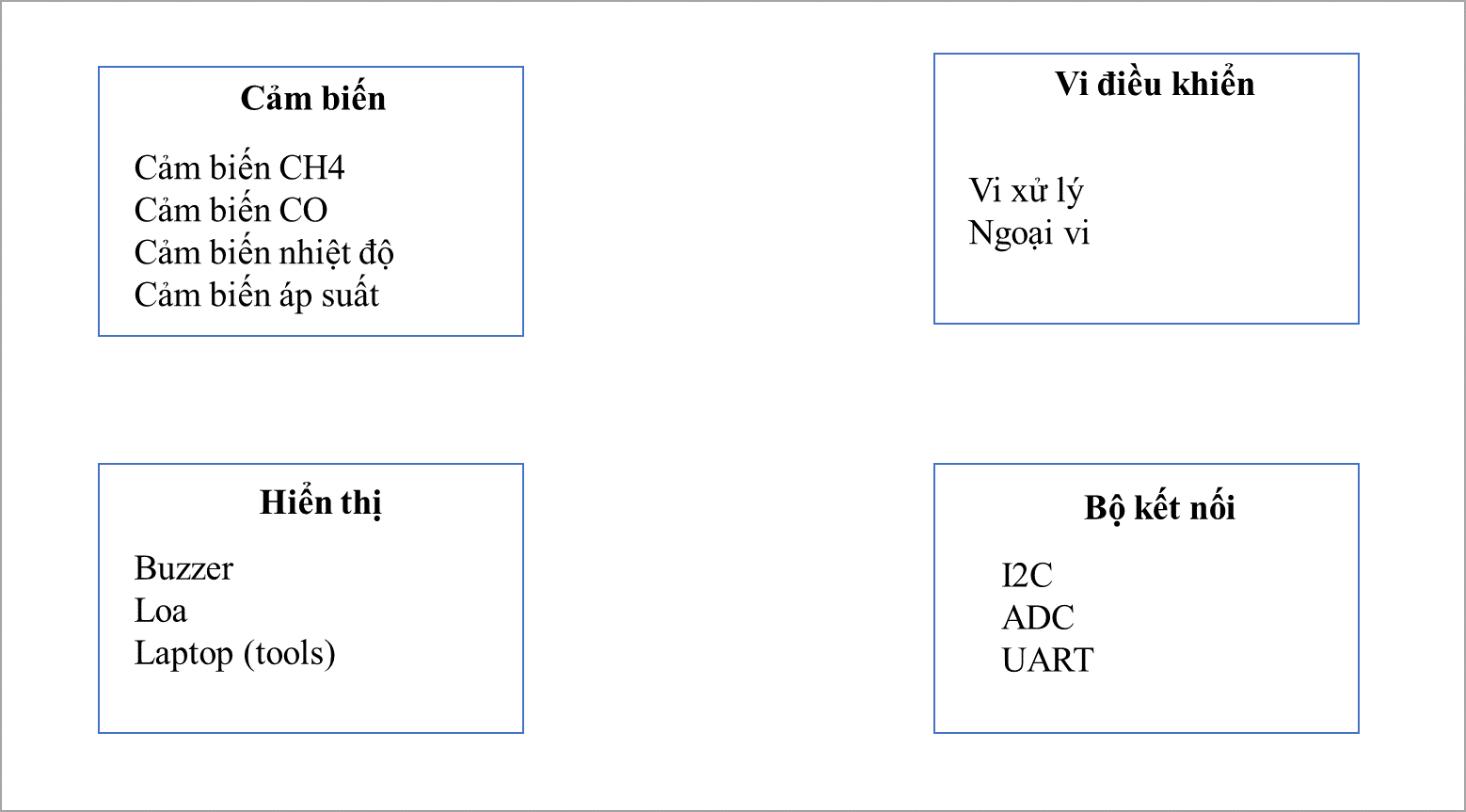
1. **REQUIREMENT**

## **Functional Requirements**

1. ***Thu nhận dữ liệu cảm biến***
   * Hệ thống phải đọc dữ liệu từ các cảm biến khí (CH₄, CO) và cảm biến tích hợp áp suất, nhiệt độ, độ ẩm.
   * Vi điều khiển STM32 phải giao tiếp với cảm biến tích hợp qua I²C và đọc được dữ liệu tuần tự (áp suất 300–1100 hPa với độ phân giải 0.18 Pa, nhiệt độ –40 đến +85 °C với độ phân giải 0.01 °C, độ ẩm 0–100 %RH).
   * STM32 phải đọc tín hiệu analog từ cảm biến khí MQ-4 và MQ-7 qua ADC với độ phân giải ≤ 5 mV, bao phủ toàn dải đo (MQ-4: 300–10000 ppm CH₄; MQ-7: 10–10000 ppm CO).
   * Test: kiểm tra bằng cách đọc thanh ghi dữ liệu BME280 qua I²C và so sánh với giá trị tham chiếu; dùng DAC giả lập tín hiệu 1–5 V và xác minh kết quả ADC.
2. ***Xử lý dữ liệu và phân loại ngưỡng***
   * Hệ thống phải phân loại dữ liệu cảm biến thành ba mức Normal, Warning, Danger.
   * Các ngưỡng cụ thể:  
     + BME280: Normal 995–1030 hPa; Warning 950–995 hoặc 1030–1050 hPa; Danger <950 hoặc >1050 hPa.
     + MQ-4: Normal <1000 ppm; Warning 1000–3000 ppm; Danger ≥3000 ppm.
     + MQ-7: Normal <50 ppm; Warning 50–100 ppm; Danger ≥100 ppm.
   * Hệ thống phải áp dụng bộ lọc trung bình trượt 5 mẫu để giảm nhiễu trước khi phân loại.
   * Test: mô phỏng dữ liệu tại ba mức giá trị và xác minh phân loại đúng; cung cấp tín hiệu dao động để kiểm tra hiệu quả lọc.
3. ***Cảnh báo tại chỗ bằng loa***
   * Khi vượt ngưỡng Warning hoặc Danger, hệ thống phải phát tín hiệu cảnh báo âm thanh.
   * Warning: PWM duty cycle 50 % tại 2–3 kHz, qua buzzer passive tạo tín hiệu “bíp bíp”.
   * Danger: PWM giữ duty cycle và tần số như trên nhưng đưa qua ampli (PAM8403) để tăng âm lượng.
   * Test: đo tín hiệu PWM bằng oscilloscope và xác minh âm lượng bằng app đo dB.
4. ***Truyền dữ liệu lên cloud***
   * Hệ thống phải gửi cảnh báo lên cloud khi có Warning hoặc Danger.
   * Gói tin phải gồm ID thiết bị, loại cảm biến vượt ngưỡng, giá trị đo, mức cảnh báo.
   * Giao tiếp qua UART/Wi-Fi tốc độ ≥9600 bps, độ trễ ≤2 giây.
   * Test: đo thời gian từ khi phát hiện ngưỡng đến khi dữ liệu xuất hiện trên PC.

**b. Non-Functional Requirements**

1. ***Độ chính xác và phân giải***
   * Sai số đo áp suất ≤ ±1 hPa; sai số nhiệt độ ≤ ±1 °C; độ phân giải ADC đủ để phân biệt ngưỡng khí.
2. ***Độ tin cậy***
   * Hệ thống phải hoạt động ổn định tối thiểu 8 giờ trong môi trường thí nghiệm.
   * Sai số tích lũy không làm thay đổi kết quả phân loại.
3. ***Khả năng thực nghiệm***
   * Ngưỡng an toàn được scale down để phù hợp với phạm vi project.
   * Với cảm biến khí, quá trình verify được thực hiện bằng mô phỏng tín hiệu điện áp thay cho môi trường thực tế.
4. ***Khả năng mở rộng***
   * Thiết kế phải dễ thay thế cảm biến hiện tại bằng cảm biến công nghiệp mà không cần thay đổi lớn phần mềm.
5. ***Tính dễ sử dụng***
   * Người dùng (sinh viên) có thể dễ dàng quan sát mức cảnh báo qua loa và dữ liệu UART.
   * Hệ thống dễ cấu hình, nạp code và chạy mô phỏng trong Proteus

**3. SƠ ĐỒ KHỐI**