

센서 그리드를 사용한 임베디드 시스템 기반, 연기 확산방향 탐지 및 확산방향예측 모델의 구현

송시현¹, 안윤상², 이우준³, 양윤기⁴

수원대학교

thdtlgus777@naver.com, cony000@naver.com, lwj4920@daum.net , ygvyang@suwon.ac.kr

Implementation of embedded sysstem – based, smoke diffusion direction detection and diffusion direction prediction model using sensor grids

Si Hyun Song¹, Yun Sang An², Woo Jun Lee³, Yoon Gi Yang⁴ The

University of Suwon

요 약

본 논문은 아두이노(Arduino) 기반의 연기 감지기를 이용하여 연기의 방향을 감지하고, 이를 시각적으로 표현하는 시스템을 제안한다. 특히 본 시스템은 저비용 센서를 배열하여 연기의 이동 방향을 탐지하고 가중 중심 알고리즘을 이용해 연기의 이동방향을 계산한다. 데이지 체인(Daisy Chain) 방식을 통해 배선의 복잡도를 낮추며, 확장성을 높인다는 점에서 기존 시스템과 차별화 된다. 기존 연기 감지 시스템은 고가이며 센서 수가 제한되어 공간 분석이나 응용성에 한계가 있다. 본 연구는 저비용의 아두이노와 MQ-2 센서 모듈을 활용하여, 여러 센서 배열을 통한 연기 확산 방향 추적과 실시간 시각화가 가능한 시스템을 구현하였다. 또한 앞에서 설명한 연기 확산의 방향 데이터를 선형 회귀 방식을 이용하여 연기 확산 방향을 예측한다. 결론적으로, 본 연구는 아두이노 기반의 저비용 센서 네트워크를 활용하여 연기의 확산 방향을 정확히 감지하고 시각화함으로써, 화재 예방 및 초기 대응 시스템의 새로운 가능성을 제시한다. 이 시스템은 설치와 유지 비용이 낮고, 다양한 환경에 쉽게 적용 가능하여 실내 안전 시스템 개발에 있어 높은 확장성과 실용성을 지닌다.

1. 연구배경

기존의 광전식 및 이온식 연기 감지기 시스템은 상대적으로 대형 공간에서 성능이 떨어지는 공간적 문제점이 있다. 기존의 감지기들은 각 감지기에 센서가 한 개씩만 탑재돼 있기 때문에, 대형 공간에서 연기 감지를 위해서는 많은 개수의 감지기가 필요하고 그에 따라 많은 비용이 든다. 문제점으로는 부족한 응용성과 제한적인 확장성이 존재한다. ‘아두이노를 활용한 연기 확산경로 디텍팅’은 아두이노를 활용하기 때문에 저비용으로 고가의 산업용 제어 시스템 대비 개발 및 실험 비용 절감이 가능하다. 공간 활용이 용이하며, 여러 개의 센서 배열로 공간적 분석이 가능하고 실시간 반응성, 쉬운 개발환경 등을 통해 기존 화재 감지 시스템을 보완하고 연기의 이동 방향까지 파악할 수 있는 응용 가능성을 지닌다. MQ-2모듈 연기감지 센서 및LED 제어를 활용해 실시간 처리가 되며 외부 환경 및 내부 환경적 요인에 따른 연기 확산 경로를 파악하여LED로 발광으로 처리함으로써 시스템이 구현되는 것을 확인할 수 있다.

2. 기존의 연구와의 비교 및 본 연구의 차별성

2.1 기존의 연구

실내, 특히 밀폐된 환경에서 공기 중 입자나 가스의 농도 변화와 확산 경로를 실시간으로 감지하는 기술은 유해 기체 감지, 공기질 모니터링 등에 필수적이다. 그러나 기존 시스템은 고가의 장비에 의존하거나 단순 감지에 그쳐 정량 분석과 이동 방향 파악에는 한계가 있다. 본 연구는 저비용 오픈소스 하드웨어인 Arduino와 MQ-2 연기 센서를 활용하여, PPM 단위로 연기 농도를 측정하고 실시간 확산 경로를 분석하는 시스템을 제안한다. 센서를 격자 형태로 배열하고 데이지 체인 방식으로 연결해 설치 효율성과

확장성을 높였으며, 농도 데이터를 기반으로 연기 확산 방향도 계산 가능하다. 시각화는 LED나 디지털 디스플레이로 직관적으로 제공한다.

2.2 기존연구와의 차별성

기존의 연기 감지 관련 연구들은 대부분 화재 발생 여부나 유해 가스 존재 유무를 판단하는 데 초점을 맞추고 있으며, 일반적으로 단일 지점 센서만을 사용하여 연기나 가스의 존재를 단순 감지하는 수준에 머물렀다. 이러한 시스템은 감지 범위가 제한적이며, 연기나 기체의 “확산 방향을 파악하거나 정량적 분석(PPM 기반 농도 측정)”을 제공하지 못하는 한계를 가진다.

또한 고급 감지 시스템의 경우, 센서 간 네트워킹 및 데이터 처리 기능이 포함되어 있지만 고가의 장비 및 폐쇄형 플랫폼에 기반하여 설계되어 있어, 일반 사용자나 교육용, 실험용 목적으로 적용하기엔 비용적 부담과 확장성 부족 문제가 존재한다. 이에 반해 본 연구는 다음과 같은 점에서 기존 연구들과의 차별성을 가진다.

- 연기 확산 방향 감지
다중 MQ-2 센서 배열로 농도 차이를 비교하여 연기 이동 방향 추정
- PPM 기반 정량 측정
실시간 PPM 측정, 임계값 초과 시 LED 경고 제공
- 저비용, 오픈소스 플랫폼 기반 설계
Arduino 기반으로 비용이 낮고, 개발과 유지보수가 용이하다.
- 데이지 체인 방식의 센서
직렬 연결로 간단한 배선 구성 가능
- 시각적 피드백 제공
시스템 통합 농도와 방향에 따라LED 또는 화면 출력으로 사용자에게 정보를 직관적으로 제공한다.

3. 실험 내용

3.1 실험 개요

본 실험은 아두이노와 MQ-2 센서 모듈을 활용해 연기 확산 경로를 실시간 감지하고, 각 지점의 연기 농도를 PPM 단위로 측정·시각화 하는 시스템의 구현과 정확성을 검증한다. 실내에서 연기 발생 후 시간에 따른 확산 경로를 다수의 센서로 측정 후 연기 이동 방향과 가중 중심 좌표를 계산, LED를 통해 연기 분포를 시각적으로 표현하도록 설계되었다.

• 센서 배열 구성

¹MQ-2 센서를 4×4 형태로 격자 배열(총16개)하여 특정 면적 내 연기 농도의 공간 분포를 실시간으로 측정

²각 센서는(x, y) 좌표를 가지며, 해당 위치에서의 아날로그 출력 값을 아두이노가 수집

³데이터 체인방식의 연결로, 구조적 확장성과 배선 간소화

• 연기 생성 및 확산 조건

¹향이나 연막 카트리지를 이용해 정해진 지점에서 연기 발생

²연기 발생 위치는 매 실험마다 변경하여 다양한 확산 시나리오 생성(예: (0,0), (2,2), (3,0) 등)

³실내 정온·정풍 환경에서 진행하여 외부 영향 최소화

• PPM 농도 측정 방식

¹MQ-2 센서의 아날로그 출력은 가스 농도(PPM)와 비례함

²아두이노에 수신된 센서 값을 기반으로 연기 농도를 환산하거나 상대 농도로 처리

³일정 시간 간격에 모든 데이터를 수집하여 시간에 따른 농도 변화 추적

⁴센서별 PPM 농도를 기록하여 농도 히트맵 또는 그래프 분석에 활용

• 가중 중심 계산 및 방향 추정

¹각 센서의(x, y) 좌표와 측정된 PPM 값을 바탕으로 가중 중심 좌표(\bar{x} , \bar{y}) 계산

²시간에 따른 중심 이동 경로를 분석하여 연기 확산 방향 예측

$$\bar{x} = \frac{\sum(x_i \cdot C_i)}{\sum C_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum(y_i \cdot C_i)}{\sum C_i}$$

그림 1. 가중 중심 계산 공식/ C = PPM 농도

• 시각화 및 출력

¹연기의 이동 방향은 LED 또는 OLED 디스플레이로 표시

²PPM 수치에 따라 LED 색상 혹은 점등 패턴 변화를 통해 위험 농도 경고 또는 확산 중심 위치 표시

³결과는 아날로그 시각화뿐 아니라, 앱으로도 확장 가능

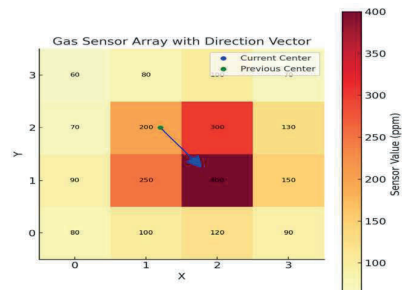


그림 2 : 연기를 확산을 감지했을 때 각 모듈의 연기 농도 수치

- ● 센서 농도를 색상 히트맵으로 표시
- ● 현재 연기 중심 좌표(center of mass)
- ● 이전 중심 좌표
- ● 파란 화살표: 중심이 이동한 벡터 방향(연기 흐름)

그림 3 : 그림2 부가 설명

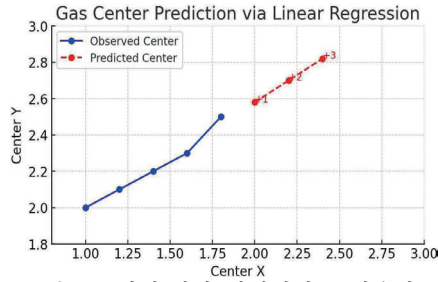


그림 4.: 여러 번의 실험결과를 이용한 선형 회귀 학습

4. 연구 결과 및 향후 방향

4.1 연구 결과

본 연구에서는 아두이노와 연기 센서 모듈을 활용하여 MQ-2, 저비용으로 연기 확산 경로를 실시간으로 감지하고 시각화 하는 시스템을 구현하였다. 다형태의 센서 배열을 통해 특정 공간, 4×4 내에서의 연기 농도를 단위로 정량 측정하였으며 시간에 PPM, 다른 농도 분포 변화로부터 가중 중심 좌표를 계산하여 연기의 이동 방향을 추정하였다.

실험 결과, 시스템은 연기 확산 방향을 LED를 통해 정확히 시각화 하였다, 또한 데이터 체인 방식을 이용해 센서 간 간섭 없이 안정적인 통신이 가능했으며, 전체 시스템은 오픈소스 기반으로 제작되어 확장성, 재현성, 응용성 면에서 우수한 성능을 입증하였다.

4.2 향후 연구 방향

1) 센서 해상도 및 공간 범위 확대

4×4 이상의 고해상도 배열을 통해 더 정밀한 연기 확산 경로 탐지가 가능하도록 개선, 넓은 공간에서도 확장 가능한 모듈화 연구 추진

2) 데이터 기반 모델 고도화

시간 축에 따른 가중 중심의 이동을 머신러닝 기반 예측 모델로 전환하여, 연기 확산 예측 시스템으로 고도화. 공기 흐름, 온도, 습도 등 외부 변수 통합 고려

5. 결론

본 연구에서 제안한 시스템은 4×4 MQ-2 센서 배열을 이용해 연기의 확산 경로와 농도를 실시간으로 측정하고, 이를 LED로 시각화 하는 기능을 갖춘 프로토타입이다. 첫 번째 실험에서 연기가 좌측 상단에서 발생했을 때 가중 중심이 시간에 따라 오른쪽 하단으로 이동하는 양상이 관찰되었고, 센서 농도값 증가 순서에 따라 LED는 대각선 방향(↘)으로 점등되며 실제 연기 확산 방향과 일치하는 출력을 나타냈다. 또한 PPM 농도 측정에서는 60~400 PPM 범위에서 농도 변화가 확인되었고, 연기 발생 직후 중심부 농도는 급격히 상승한 반면 주변 센서에서는 점진적인 농도 증가가 관찰되었다. 특정 실험에서는 중심 좌표가 점차 이동하며 방향성 오차가 10도 미만으로 나타났다.

<참 고 문 헌>

- [1] Sarthak Jagtap, Hemlata Jadhav, Prachiti Doshi, Prathamesh Gatkhal, "Fire and Smoke Detector Alarm Using Arduino and MQ2 Sensor", 『International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR)』, Volume 5, Issue 5, September-October 2023
- [2] Petar Stančić, Aleksandra Stojković and Miljana Milić Member, IEEE, "Arduino-Based Gas and Smoke Detector Realized Using MQ-2 Sensor", 『ETRN』, 2021, pp.1-4