

멀티모달 AI 기반 실시간 실내 공기질 모니터링 및 관리 시스템의 설계

최민혁*, 한경현, 이진혁, 이수영, 김명옥

브이산업(주)

*ve0508@naver.com, *ve5962@naver.com, main261@main.bizmeka.com, vesu0301@gmail.com, veok4078@gmail.com

A Design of Multimodal AI Based Real-Time Indoor Air Quality Monitoring and Managing System

Choi Min Hyeok*, Han Gyeong Heon, Lee Jin Hyeok, Lee Su Yeong, Kim Myoung Ok

VE Industry Co., Ltd.

요약

최근까지 이뤄지고 있는 실내 공기질 관리 방법은 IoT IAQ센서를 통한 공기질 모니터링이 주를 이루고 있다. 하지만, IAQ센서 자체가 갖는 오차로 인한 오류와 단일 센서를 통해 얻을 수 있는 실내 상황에 대한 정보에는 한계가 있다. 본 논문에서는 실내 공기질 외에 거주자 생체정보와 특정 가전의 실시간 소비전력 변화량 모니터링을 통해 에너지 관리까지 가능한 통합 관리 시스템을 설계하고 구현하기 위한 과정을 다루었다. 시스템이 현재 거주지 상황을 모니터링하고 환기유닛과 가전을 자동으로 제어하기 위한 AI 모델을 학습하여 IoT 게이트웨이에 포팅하고, 모사실험을 통해 상황을 잘 예측하였는지 확인하였다.

I. 서론

공기 중의 미세먼지는 인체에 해를 미치는 대기오염 물질로, 기후와 주변국의 상황, 국내 산업단지 상황에 따라 발생량이 변동된다. 건강과 경제적·사회적 피해까지 발생시키는 미세먼지 저감과 감축을 위한 각종 대책을 수립, 추진하고 있으며, 특히, 주거공간에 대한 환기시설 설치 기준이 강화되고 있다. 이와 함께 실내 공기질 상황을 모니터링 할 수 있는 IoT 미세먼지 측정기나 이러한 센서 기반의 모니터링 플랫폼에 대한 연구가 이뤄지고 있다[1][2]. 하나 이상의 IAQ(Indoor Air Quality)센서를 통해 획득한 데이터를 토대로 실내 공기질을 관리하는 연구가 진행되고 있으나 [3], IAQ센서 자체의 오차가 있어 더욱 많은 정보를 취득하면서, 상호 보완할 수 있는 다중 센서 기반의 모니터링이 필요한 것으로 사료된다. 또한 실내 공기질에 관련된 정보가 전무하여 환기장치가 휴면 기기가 되는 경우가 빈번하여, 거주자의 능동적인 환기장치 사용을 유도하기 위해서는 실내 공기질 등에 대한 정보 표출이 필요할 것으로 보인다. 따라서 본 논문에서는 거주지 내 공기질 및 전력소비 상황을 표출함과 동시에 AI에 의해 이들이 자동으로 관리될 수 있는 통합 관리 시스템 디자인과 구현에 대해 다루고자 한다.

II. 본론

효과적인 공기질 관리를 위해서는 현재 거주자의 행동 패턴을 예측하고 이에 따른 환기장치의 풍량 등을 설정할 수 있는 AI모델의 학습이 필요하다. 학습을 위해서는 요리, 샤워 등과 같은 생활 패턴에 대한 데이터가 필요하므로, 상술한 생활 패턴을 반복적으로 모사하여 수집할 필요가 있다. 이를 위해 별도의 테스트베드를 구축하고, 데이터 수집 방법을 구축하였다.

1) 데이터셋 수집 환경 구축

AI 학습용 데이터셋 취득을 위해 3베이 20평형 아파트 구조를 모사한 테스트베드를 구축하였다. 각 방에는 IAQ센서와 원거리 UWB센서가 설치되고, 일부 공간에는 근거리 UWB센서가 부착된 스마트 가구를 추가로 배치하였다. 가전의 소비전력 측정을 위해 파워미터가 부착된 2~4구 콘센트를 부착하였다. 각 센서의 통신 인터페이스 및 출력주기는 아래와 같다.

장치 종류	인터페이스	출력 주기
IAQ 센서	TCP/IP, Modbus RTU	30초
UWB 센서	TCP/IP, MQTT	1초
파워미터	TCP/IP, Modbus RTU	1초

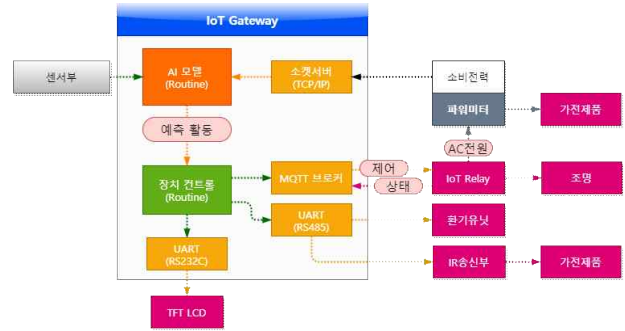
각 센서로부터 출력되는 데이터는 IoT 게이트웨이에서 취합하고, 이를 별도 PC에 설치된 모니터링 S/W로 송신하여 실시간으로 RDBMS에 저장되도록 하였다. 테스트베드 내 센서는 아래 그림1과 같이 배치되도록 하였다. 생활 패턴 데이터셋 취득을 위해 모사실험 스케줄 계획을 수립하였다.



<그림 1> 테스트베드 내 장치 배치도

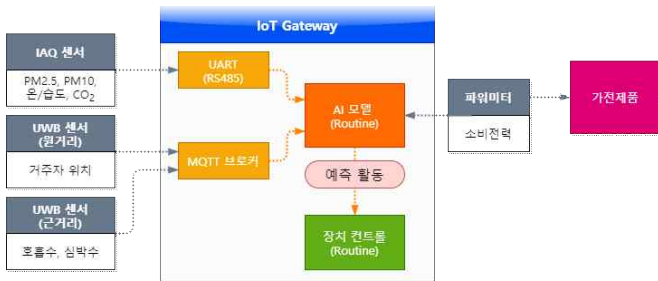


<그림 2> 센서 및 모니터링 S/W



<그림 4> 시스템 출력부 다이어그램

IoT 게이트웨이는 AI Edge 역할을 포함하고 있어, 모사실험을 통해 얻을 수 있는 AI 모델을 통해 현재 생활 패턴을 예측하고 그에 맞는 공기질 관리를 수행하게 된다.



<그림 3> 시스템 입력부 다이어그램

2) AI 모델 학습

모사실험에서 획득하는 데이터셋은 방별 공기질 정보와 방별 생체정보, 방별 소비전력 등 48개 데이터로 구성된다. 멀티모달 AI 학습에 적합한 모델은 시계열 데이터 처리에 특화된 RNN으로 결정하고, 입력정보와 출력지점의 사이가 멀 때 기울기가 소실되는 문제를 해결하는 완화하기 위해 LSTM을 사용하였다. 다중 센서 데이터셋을 랜덤 포레스트와 LSTM을 이용하여 학습하였다. 단일 센서와 다중 센서 데이터를 각각 KNN, 랜덤 포레스트, LSTM으로 학습하였을 때, 근소한 차이를 보이긴 하였으나, LSTM으로 학습하는 경우가 대부분 높은 결과를 보였다.

패턴	성능	랜덤 포레스트		LSTM	
		ACC	F1-스코어	ACC	F1-스코어
외출	98.24%	98.61%	1.00	98.61%	1.00
재실			0.92		0.94
취침			1.00		1.00
요리			0.96		0.97
운동			0.93		0.96

3) 시스템 출력부의 구성

관리 시스템은 공기질 관리를 위해 환기장치의 풍량과 환기모드를 설정하고, 방별 거주자의 유무, 현재 생활 패턴에 따라 방별 조명과 가전을 제어 할 수 있다. 현재 상기 AI 모델에 의한 공기질 관리가 구현되었고, 가전은 ON/OFF와 세부 기능, 즉, 불륨 세기, 냉난방기 온도 등이 설정될 수 있도록 구현되었다. 가전 ON/OFF는 별도 제작한 IoT Relay를 통해 설정하고, 불륨 세기 등은 IR 기능을 통해 구현하였다.

4) 예측 성능 테스트

생활 패턴 예측 테스트를 위해 수면, 요리, 휴식 등 3종에 대한 모사를 각 3~4회씩 총 10회 진행하여 올바른 예측 여부를 확인하였다. 테스트 결과 90% 예측 성능을 보이는 것을 확인하였다.

횟수	실제 행동	판단 행동	계산 공간	UWB 계산 여부	Micro wave 소비전력 [KWh]	스마트가구		TV 소비전력 [Wh]	IAQ 예측			판단 성공 여부
						호흡수 [회/분]	심박수 [회/분]		PM1.0 [µg/m³]	PM2.5 [µg/m³]	PM10 [µg/m³]	
1	수면	수면	침실1	0		0	74		0.0	0.0	0.9	○
2	요리	요리	주방	0	7.11				43.4	90.7	330.5	○
3	휴식	휴식	거실	0		0	0	2.01	5.6	16.7	41.8	×
4	수면	수면	침실1	0		10	69		0.0	0.0	0.9	○
5	요리	요리	주방	0	7.30				70.1	213.6	433.6	○
6	휴식	휴식	거실	0		10	64	2.05	5.0	14.6	36.3	○
7	수면	수면	침실1	0		8	67		0.0	0.0	0.9	○
8	요리	요리	주방	0	7.31				51.6	122.4	399.6	○
9	휴식	휴식	거실	0		13	78	2.07	4.2	12.3	34.5	○
10	수면	수면	침실1	0		8	79		0.0	0.0	0.9	○
판단수행성공횟수 / 실제행동수행횟수 × 100 = 판단 성공률 [%]									9 / 10 × 100 = 90 [%]			

III. 결론

위와 같이 AI 기반 공기질 관리 시스템을 구현하고 시험하였으나, 아직 일반화 하기에는 부족하므로 추후 지속적인 AI 모델 테스트와 최적화 진행이 필요할 것으로 보인다. 또한 소비전력 관련 정보 가공과 표출, 실험을 통한 관리 항목의 적절한 수정을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역혁신클러스터육성(R&D, P0025283)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

참고 문헌

- [1] 전성우, 임현근, 박순모, 정희경, “실내 공기 데이터 측정기 및 모니터링 시스템”, 한국정보통신학회논문지 Vol.26, No.1, pp.140-145, 2022.
- [2] 이완직, 김세진, 윤준근, 정자운, 허석렬, “IoT 기반의 실내환경 관리 플랫폼 설계 및 개발”, 문화기술의 융합 학술지, 2021.
- [3] 조훈우, 김운신, “IoT기반의 실내공기질 모니터링 및 구성 및 운영사례 분석”, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 2023.
- [4] 수던 프라사드 우프레티, 김유신, “청정환기장치 최적제어를 위한 IoT 기반 실시간 공기질 모니터링 플랫폼 구현”, 인터넷정보학회논문지, pp.95-104, 2020.