ỨNG DỤNG AI ĐỂ GIÁM SÁT VÀ DỰ ĐOÁN CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ TRONG PHÒNG BỆNH

Trần Huy Phúc[a], Đỗ Xuân Trí[b], Nguyễn Thanh Tịnh[c], Nguyễn Xuân Việt[d], Lê Thị Thanh Nga[e]

Tóm tắt:

Nghiên cứu này xây dựng hệ thống giám sát và dự đoán chất lượng không khí trong phòng bệnh dựa trên công nghệ Internet vạn vật (IoT) và trí tuệ nhân tạo (AI). Hệ thống sử dụng các cảm biến để thu thập dữ liệu môi trường theo thời gian thực, bao gồm nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO_2, bụi mịn PM2.5 và khí hỗn hợp. Dữ liệu sau khi tiền xử lý được đưa vào mô hình học máy XGBoost nhằm dự đoán xu hướng thay đổi chất lượng không khí. Kết quả được hiển thị trên nền tảng IoT và hệ thống có khả năng phát cảnh báo khi các thông số vượt ngưỡng an toàn. Thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, mô hình dự đoán đạt độ chính xác phù hợp và hỗ trợ đánh giá chất lượng không khí hiệu quả. Nghiên cứu khẳng định tính khả thi của việc kết hợp AI và IoT trong giám sát môi trường phòng bệnh, đồng thời mở ra khả năng ứng dụng cho các không gian kín như bệnh viện, trường học và văn phòng.

Từ khóa: *Trí tuệ nhân tạo (AI), chất lượng không khí, phòng bệnh, IoT, dự đoán AQI.*

APPLICATION OF AI IN MONITORING AND PREDICTING INDOOR AIR QUALITY IN HOSPITAL ROOMS

Abstract:

This study develops an indoor air quality monitoring and prediction system for hospital rooms based on the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). The system employs environmental sensors to collect real-time data, including temperature, humidity, CO_2 concentration, PM2.5 particulate matter, and mixed gas levels. After preprocessing, the collected data are fed into the XGBoost machine learning model to predict trends in air quality changes. The prediction results are displayed on an IoT platform, and the system is capable of issuing alerts when environmental parameters exceed safety thresholds. Experimental results demonstrate that the system operates reliably and that the prediction model achieves satisfactory accuracy, effectively supporting air quality assessment. The study confirms the feasibility of integrating AI and IoT for monitoring hospital room

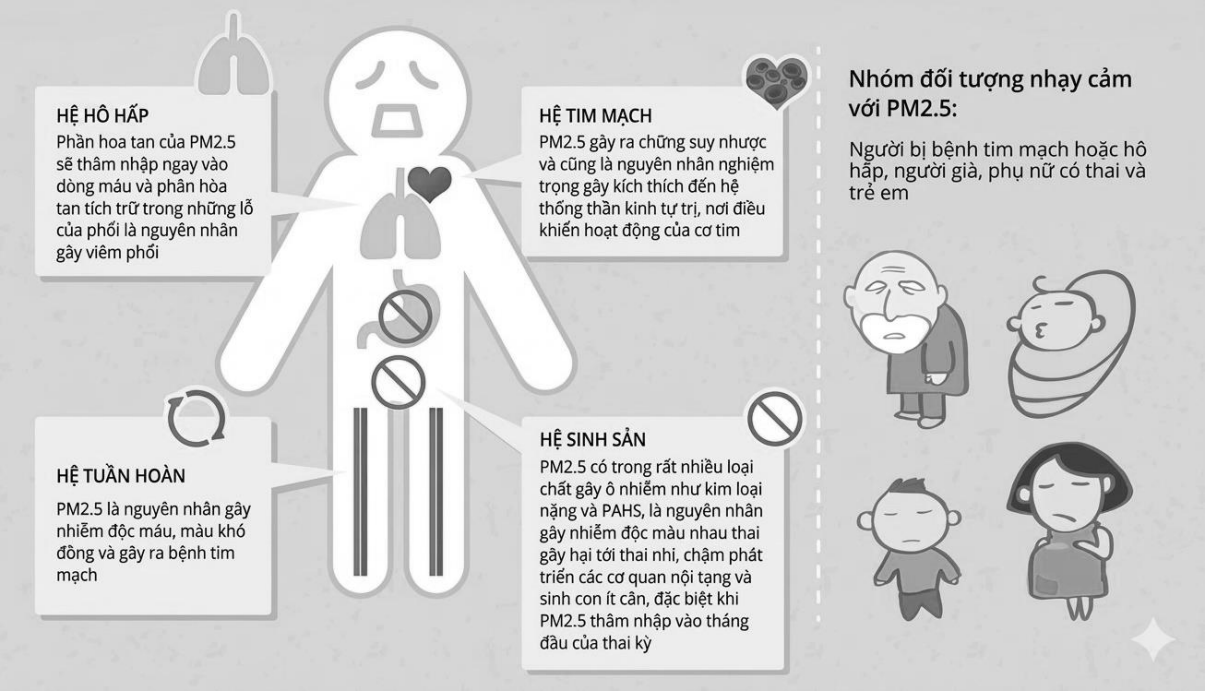
[a] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Đông Á
[b] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Đông Á
[c] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Đông Á
[d] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Đông Á
[e] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Đông Á

environments and highlights its potential application in other enclosed spaces such as hospitals, schools, and offices.

Keywords: *Artificial intelligence (AI), air quality, disease prevention, IoT, AQI prediction.*

Đặt vấn đề

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã tập trung vào việc giám sát và dự đoán chất lượng không khí bằng công nghệ IoT và trí tuệ nhân tạo. Theo hướng dẫn của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), bụi mịn PM2.5 là một trong những tác nhân gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người do khả năng xâm nhập sâu vào phổi và hệ tuần hoàn. Vì vậy, việc theo dõi liên tục các thông số môi trường trong nhà, đặc biệt tại bệnh viện, là yêu cầu cần thiết nhằm đảm bảo môi trường điều trị an toàn.



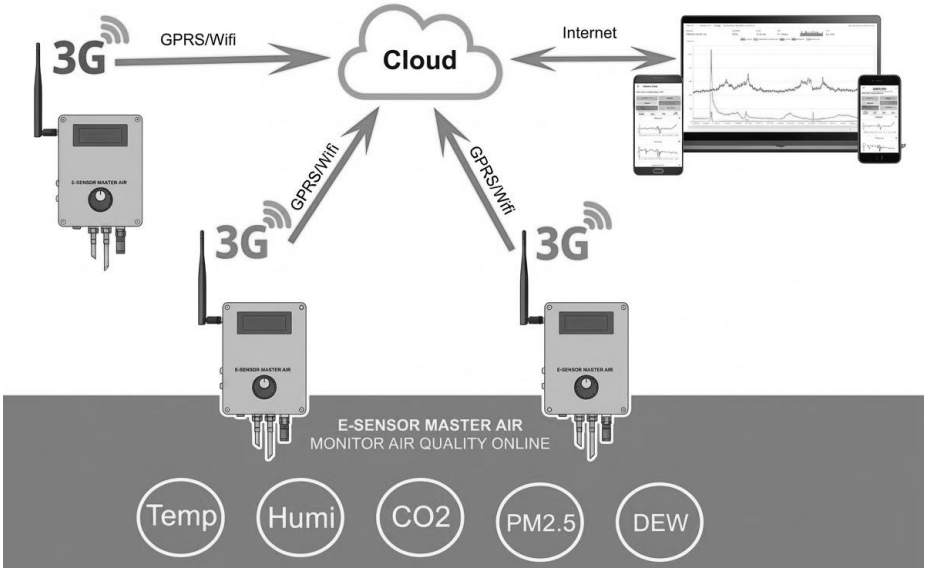
Hình 1. Ảnh hưởng của bụi mịn PM2.5 đến hệ hô hấp và tim mạch của con người

(Nguồn: WHO, 2021 World Health Organization (2021), WHO Global Air Quality Guidelines.)

Trong lĩnh vực dự đoán chất lượng không khí, Ma và cộng sự (2020) đã nghiên cứu ứng dụng mô hình XGBoost để dự báo nồng độ PM2.5 tại Thượng Hải, Trung Quốc. Kết quả cho thấy mô hình XGBoost cải thiện đáng kể độ chính xác so với các phương pháp truyền thống và có khả năng dự báo hiệu quả trong các giai đoạn ô nhiễm cao. Nghiên cứu này khẳng định tiềm năng của các thuật toán học máy trong việc hỗ trợ dự báo chất lượng không khí theo thời gian thực (Ma, J. et al., 2020).

Bên cạnh đó, các nghiên cứu gần đây đã kết hợp mạng cảm biến IoT với các mô hình học máy như Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost và LSTM nhằm xây

dựng hệ thống giám sát và cảnh báo môi trường thông minh. Kết quả cho thấy việc tích hợp dữ liệu cảm biến thời gian thực với các mô hình AI giúp nâng cao độ chính xác dự đoán, hỗ trợ phát hiện sớm các nguy cơ ô nhiễm và đưa ra cảnh báo kịp thời cho người sử dụng.



Hình 2. Mô hình giám sát chất lượng không khí sử dụng IoT trong nghiên cứu (2023)

Đối với môi trường trong nhà, Yu và cộng sự (2024) đã nghiên cứu dự đoán nồng độ PM2.5 trong các tòa nhà bằng mô hình học máy kết hợp dữ liệu từ nhiều cảm biến môi trường. Kết quả cho thấy các mô hình dự báo có khả năng mô tả tốt sự biến động của chất lượng không khí trong không gian kín và hỗ trợ xây dựng hệ thống cảnh báo sớm nhằm bảo vệ sức khỏe cộng đồng (Yu, W. et al., 2024).

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về giám sát và dự đoán chất lượng không khí, phần lớn tập trung vào môi trường đô thị và dân dụng. Các nghiên cứu ứng dụng IoT kết hợp AI cho phòng bệnh trong bệnh viện vẫn còn hạn chế. Vì vậy, đề tài này xây dựng hệ thống giám sát và dự đoán chất lượng không khí trong phòng bệnh dựa trên cảm biến môi trường, IoT và mô hình XGBoost nhằm nâng cao hiệu quả quản lý môi trường và hỗ trợ bảo vệ sức khỏe bệnh nhân.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

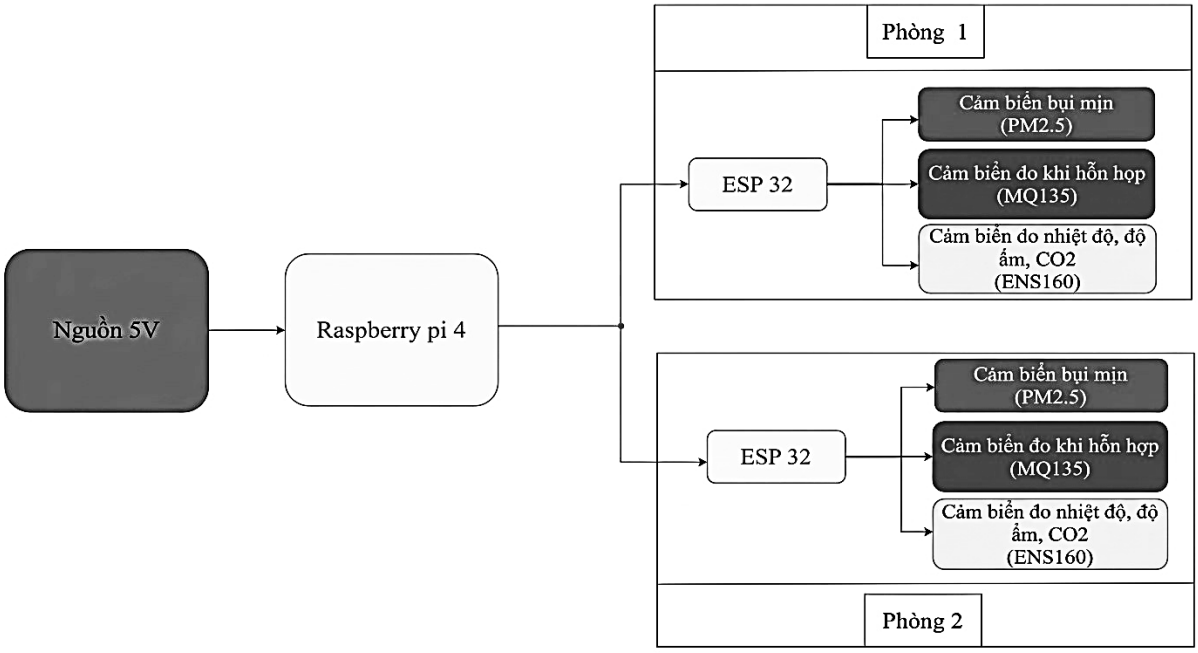
Đối tượng nghiên cứu của đề tài là chất lượng không khí trong không gian phòng bệnh, tập trung vào các thông số môi trường có ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người gồm nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO_2, bụi mịn PM2.5 và các khí hỗn hợp trong không khí. Việc giám sát các thông số này giúp đánh giá mức độ an toàn của môi trường trong phòng kín và hỗ trợ đưa ra cảnh báo khi điều kiện không khí vượt quá giới hạn cho phép.

 ISBN: 978-604-45-3797-9

Phương pháp nghiên cứu

Hệ thống thu thập dữ liệu môi trường được xây dựng dựa trên các cảm biến gồm ENS160, MQ135 và cảm biến bụi mịn PM2.5. Trong đó, cảm biến ENS160 được sử dụng để đo nhiệt độ, độ ẩm và nồng độ CO_2; cảm biến MQ135 được sử dụng để phát hiện sự thay đổi của các loại khí hỗn hợp; cảm biến PM2.5 có nhiệm vụ giám sát nồng độ bụi mịn trong không khí. Các cảm biến được kết nối với bộ điều khiển ESP32 và Raspberry Pi nhằm thu thập dữ liệu theo thời gian thực.

Các thông số đầu vào được lựa chọn gồm nhiệt độ (°C), độ ẩm (%), nồng độ CO_2 (ppm), bụi mịn PM2.5 (µg/m^3) và giá trị khí hỗn hợp. Đây là những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến chất lượng không khí trong các không gian kín, đặc biệt là môi trường phòng bệnh.



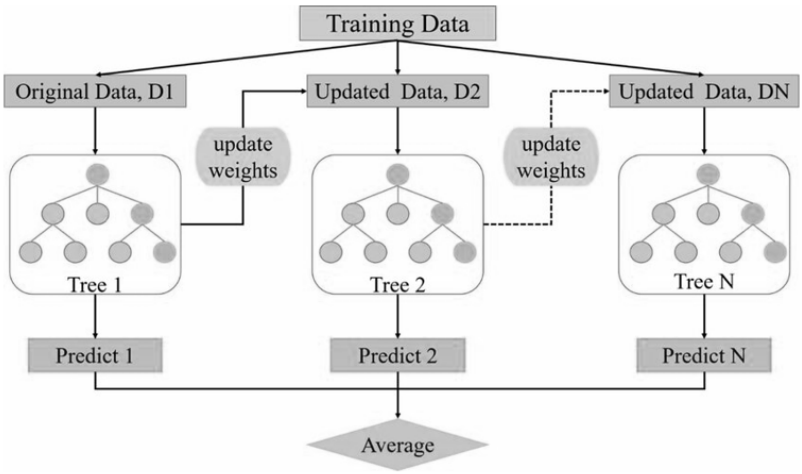
Hệ thống cảm biến được lắp đặt tại khu vực phòng kín mô phỏng phòng bệnh, nơi có sự hoạt động của con người và có khả năng phát sinh các nguồn gây thay đổi chất lượng không khí. Dữ liệu được lấy mẫu với chu kỳ 30 giây/lần và truyền về bộ xử lý trung tâm để thực hiện quá trình tiền xử lý.

Sau khi thu thập, dữ liệu được thực hiện các bước xử lý gồm loại bỏ dữ liệu bất thường, lọc nhiễu và chuẩn hóa dữ liệu trước khi đưa vào mô hình học máy. Dữ liệu sau xử lý được lưu trữ trên nền tảng IoT ThingsBoard nhằm phục vụ quá trình giám sát trực tuyến và phân tích.

```
3376  2026-04-02T09:21:22,28.97,63.3,544.0,67.42,0.83,0
3377  2026-04-02T09:21:52,29.13,63.02,547.0,65.72,0.83,0
3378  2026-04-02T09:22:22,29.05,62.77,552.0,67.96,0.83,0
3379  2026-04-02T09:22:52,29.12,61.63,546.0,69.09,0.77,0
3380  2026-04-02T09:23:23,29.44,61.07,545.0,65.26,0.74,0
3381  2026-04-02T09:23:53,29.21,61.62,552.0,64.1,0.74,0
3382  2026-04-02T09:24:23,29.07,61.47,549.0,64.87,0.82,0
3383  2026-04-02T09:24:53,29.1,61.58,562.0,67.66,0.82,0
3384  2026-04-02T09:25:23,28.95,61.28,560.0,65.92,0.81,0
3385  2026-04-02T09:27:09,29.17,59.95,555.0,65.98,0.81,0
3386  2026-04-02T09:27:40,29.29,59.71,583.0,67.22,0.73,0
3387  2026-04-02T09:28:10,29.05,60.2,556.0,65.76,0.8,0
3388  2026-04-02T09:28:40,29.0,60.16,570.0,64.79,0.79,0
3389  2026-04-02T09:29:10,29.22,59.89,571.0,63.03,0.8,0
3390  2026-04-02T09:29:40,29.26,60.43,578.0,67.22,0.8,0
3391  2026-04-02T09:30:10,29.48,60.15,575.0,63.48,0.79,0
3392
```

Xây dựng mô hình trí tuệ nhân tạo

Nghiên cứu sử dụng thuật toán XGBoost (Extreme Gradient Boosting) để xây dựng mô hình dự đoán chất lượng không khí. Đây là thuật toán học máy dựa trên phương pháp Gradient Boosting, trong đó nhiều cây quyết định được kết hợp nhằm nâng cao khả năng dự đoán và giảm sai số.



Mô hình được huấn luyện bằng dữ liệu thu thập từ các cảm biến môi trường. Các thông số nhiệt độ, độ ẩm, CO_2, PM2.5 và khí hỗn hợp được sử dụng làm biến đầu vào để dự đoán chỉ số chất lượng không khí AQI trong khoảng thời gian tiếp theo.

Chất lượng không khí	Khoảng giá trị AQI	Mức độ cảnh báo y tế
Tốt	0 to 50	Không ảnh hưởng đến sức khỏe
Trung Bình	51 to 100	Ở mức chấp nhận được Nhóm nhạy cảm nên hạn chế thời gian ra ngoài
Kém	101 to 150	Ảnh hưởng xấu đến sức khỏe Nhóm nhạy cảm. Nhóm nhạy cảm nên hạn chế thời gian ra ngoài
Xấu	151 to 200	Nhóm nhạy cảm tránh ra ngoài Những người khác hạn chế ra ngoài
Rất xấu	201 to 300	Cảnh báo sức khỏe khẩn cấp Ảnh hưởng đến tất cả cư dân
Nguy hại	301 to 500	Báo động: Có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe mọi người

Đánh giá mô hình

Hiệu quả của mô hình được đánh giá bằng cách so sánh giá trị thực tế đo được với giá trị dự đoán trong hai ngày thử nghiệm 17/04/2026 và 18/04/2026. Sai số giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế được sử dụng để tính toán độ chính xác của mô hình.

Kết quả đánh giá cho thấy mô hình có khả năng dự đoán tương đối tốt đối với các thông số môi trường. Trong đó, thông số bụi mịn PM2.5 có sai số thấp nhất do mức biến động nhỏ trong quá trình đo, trong khi CO_2 và AQI có sai số lớn hơn do phụ thuộc vào sự thay đổi của số lượng người và điều kiện thông gió trong phòng.

Thông số	Thực tế (ngày 17)	Dự đoán (16→17)	Sai số	Độ chính xác
Nhiệt độ	32,91	29,59	3,32	89,91%
Độ ẩm	60,27	59,19	1,08	98,21%
CO_2	642,59	547,11	95,48	85,14%
Bụi mịn	60,43	59,89	0,54	99,11%
Khí hỗn hợp	1,25	1,04	0,21	83,20%
AQI	150	110	40	73,33%

Thông số	Thực tế (18)	Dự đoán (17→18)	Sai số	Độ chính xác
Nhiệt độ	32,52	28,52	4,00	87,70%
Độ ẩm	58,45	62,56	4,11	92,97%
CO_2	543,03	595,39	52,36	90,36%
Bụi mịn	60,85	59,45	1,40	97,70%
Khí hỗn hợp	1,05	1,02	0,03	97,14%
AQI	120	110	10	91,67%

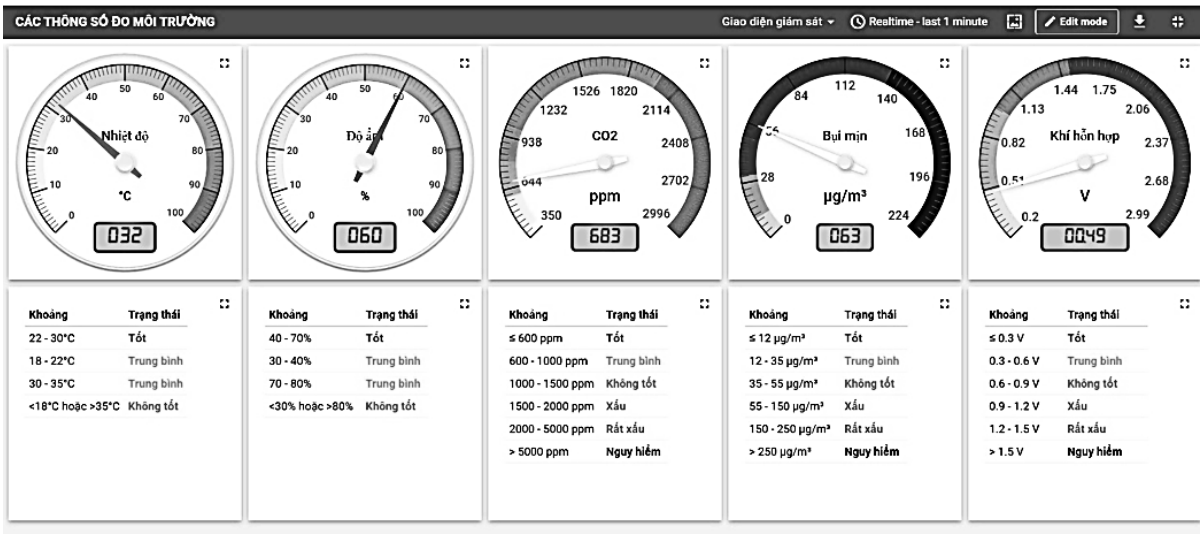
Kết quả và thảo luận

Kết quả giám sát chất lượng không khí theo thời gian thực

Hình 1 trình bày giao diện giám sát các thông số môi trường của hệ thống IoT. Các thông số gồm nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO_2, bụi mịn PM2.5 và khí hỗn hợp được cập nhật liên tục trong quá trình vận hành.

Tại thời điểm khảo sát, hệ thống ghi nhận nhiệt độ khoảng 32°C, độ ẩm khoảng 60%, nồng độ CO_2 đạt khoảng 683 ppm, nồng độ bụi PM2.5 khoảng 63 µg/m^3 và giá trị khí hỗn hợp khoảng 0,49 V.

Kết quả cho thấy độ ẩm duy trì trong khoảng phù hợp với môi trường trong nhà, trong khi nhiệt độ có xu hướng cao hơn mức khuyến nghị. Nồng độ CO_2 vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được nhưng cần duy trì thông gió để đảm bảo chất lượng không khí. Bên cạnh đó, giá trị PM2.5 ở mức cao hơn điều kiện lý tưởng cho thấy bụi mịn là một trong các yếu tố cần được quan tâm trong quá trình kiểm soát môi trường phòng bệnh.



Kết quả dự đoán chất lượng không khí bằng mô hình AI

Hình 2 thể hiện kết quả dự đoán chỉ số AQI trong khoảng thời gian từ ngày 15/03/2026 đến ngày 18/03/2026 dựa trên mô hình AI đã xây dựng.

Kết quả dự đoán cho thấy AQI có xu hướng giảm từ 110 xuống khoảng 80-90 trong các ngày tiếp theo. Điều này cho thấy điều kiện không khí có sự cải thiện so với thời điểm ban đầu.

Sự thay đổi của AQI được giải thích thông qua sự biến động của các thông số đầu vào. Nồng độ CO_2 giảm dần phản ánh khả năng trao đổi không khí tốt hơn, trong khi giá trị PM2.5 vẫn duy trì ở mức khoảng 58-59 µg/m^3 và tiếp tục là yếu tố ảnh hưởng lớn đến chất lượng không khí.

Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình AI có khả năng nhận diện xu hướng thay đổi của môi trường và hỗ trợ cảnh báo sớm khi chất lượng không khí có dấu hiệu suy giảm.

Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng và thử nghiệm hệ thống giám sát, dự đoán chất lượng không khí trong phòng bệnh dựa trên sự kết hợp giữa cảm biến môi trường, nền tảng Internet vạn vật (IoT) và mô hình trí tuệ nhân tạo (AI). Hệ thống có khả năng thu thập dữ liệu theo thời gian thực từ các cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ CO_2, bụi mịn PM2.5 và khí hỗn hợp, sau đó thực hiện quá trình xử lý dữ liệu và phân tích nhằm đánh giá trạng thái chất lượng không khí.

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống có khả năng hoạt động ổn định trong quá trình giám sát môi trường phòng kín. Mô hình AI xây dựng dựa trên thuật toán XGBoost có khả năng dự đoán xu hướng thay đổi của chất lượng không khí thông qua chỉ số AQI. Các kết quả dự đoán cho thấy mô hình có thể phản ánh được sự biến động của các thông số môi trường, trong đó các thông số như nhiệt độ, độ ẩm và bụi mịn PM2.5 đạt mức sai số thấp hơn so với các thông số có sự thay đổi nhanh như CO_2 và AQI.

Bên cạnh khả năng giám sát, hệ thống còn có chức năng cảnh báo khi các thông số môi trường vượt quá ngưỡng cho phép, góp phần hỗ trợ việc theo dõi và quản lý chất lượng không khí trong phòng bệnh. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng AI kết hợp IoT trong bài toán giám sát môi trường là khả thi và có thể áp dụng cho các không gian kín cần kiểm soát chất lượng không khí.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, hệ thống có thể được cải tiến bằng cách mở rộng tập dữ liệu huấn luyện, thử nghiệm với nhiều điều kiện môi trường khác nhau, đồng thời tích hợp các thuật toán học máy nâng cao nhằm nâng cao độ chính xác dự đoán. Ngoài ra, hệ thống có thể được phát triển theo hướng kết nối với các thiết bị điều khiển thông minh như hệ thống thông gió HVAC để thực hiện điều chỉnh môi trường tự động.

Tài liệu tham khảo

Ma, J., et al. (2020). *Application of the XGBoost machine learning method in PM2.5 prediction: A case study of Shanghai*.

Yu, W., et al. (2024). *Indoor PM2.5 forecasting and the association with outdoor air pollution*.