

ỨNG DỤNG UAV GIÁ THÀNH THẤP TÍCH HỢP CẢM BIẾN QUAN TRẮC CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ VÀ MẠNG NƠ RON NHÂN TẠO ĐỂ MÔ PHỎNG Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ TẠI MỎ KHAI THÁC ĐÁ

Võ Chí Mỹ¹, Kiều Kim Trúc¹, Nguyễn Quốc Long^{2*}, Nguyễn Đình Huy³

¹ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam, 226 Lê Duẩn, Hà Nội, Việt Nam.

² Trường Đại học Mỏ Địa chất Hà Nội, 18 phố Viên, Hà Nội, Việt Nam.

³ Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Số 55 Đường Giải Phóng, Hà Nội, Việt Nam.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC:

Ngày nhận bài: 08/10/2024

Ngày nhận bài sửa: 05/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 10/11/2024

²*Tác giả liên hệ: nguyenquoclong@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo đánh giá tiềm năng ứng dụng của máy bay không người lái (UAV) giá thành thấp có tích hợp cảm biến quan trắc chất lượng không khí UMS-AM trong việc quan trắc và đánh giá môi trường không khí tại khu vực khai thác đá vật liệu xây dựng và dự báo mật độ các thành phần bụi bằng mạng nơ ron nhân tạo đa lớp (MLP Neural Nets). Để đạt được các mục tiêu này, máy bay không người lái DJI Inspire 2 trang bị cảm biến đo bụi mịn PM1.0, PM2.5 và PM10 được sử dụng để đo đạc thực nghiệm tại hai mỏ đá Tân Mỹ và Thường Tân thuộc tỉnh Bình Dương. Ngoài ra, MLP Neural Nets được sử dụng để dự báo mật độ các thành phần không khí trên mỏ đá khi quá trình sản xuất được mở rộng với quy mô và độ sâu khai thác lớn hơn trong tương lai. Cuối cùng, các mô hình 3D mô phỏng phân bố của các chỉ số PM1.0, PM2.5 và PM10 được xây dựng. Kết quả nghiên cứu cho thấy công tác quan trắc bụi tại các khu vực khai thác mỏ đá bằng UAV với chi phí thấp là hoàn toàn khả thi và cần được xem xét áp dụng cho các mỏ khai thác lộ thiên khác, góp phần tích cực và hiệu quả vào kiểm soát thực trạng phát thải khí nhà kính ở các khu vực khai thác mỏ lộ thiên.

Từ khóa: Mạng cảm biến, quan trắc chất lượng không khí, máy bay không người lái, mỏ lộ thiên, mạng nơ ron nhân tạo.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành công nghiệp khai thác đá vật liệu xây dựng đã đóng góp đáng kể vào phát triển cơ sở hạ tầng cũng như nền kinh tế của Việt Nam. Tuy nhiên, ngành công nghiệp này cũng làm ảnh hưởng không nhỏ đến môi trường. Ở Việt Nam, các mỏ khai thác đá lớn thường nằm khá gần các khu dân cư. Có thể kể đến các mỏ Tân Mỹ và Thường Tân là hai trong những mỏ đá lớn nhất Việt Nam chỉ cách thị trấn Tân Uyên tỉnh Bình Dương vài km. Nổ mìn là một công việc không thể

thiếu của quá trình khai thác đá nhưng nó thường gây ra sự phát thải bụi và các khí gây hại [1]. Những hoạt động này tạo ra các hạt có kích thước nhỏ và khí như metan (CH₄), carbon dioxide (CO₂), oxit nitơ (NO_x) và oxit lưu huỳnh (SO_x) có các tác động tiêu cực đến môi trường sống và sức khỏe con người. Quá trình nổ mìn thường tạo ra các luồng khí bụi mịn, rung động mặt đất, đá bay, khói độc và hạt vật chất, khí amoniac, CO₂, nitơ, NO_x và SO_x [1]. Do đó, thiết lập một hệ thống quan trắc chất lượng không khí hiệu quả tại các khu vực khai

thác mỏ đá là rất quan trọng. Ngoài ra, để đáp ứng nhu cầu cao về vật liệu xây dựng, việc mở rộng khu vực khai thác mỏ là điều tất yếu. Tuy nhiên, việc mở rộng mỏ đá thường được xem xét cùng với các tác động đến môi trường. Hệ thống quan trắc chất lượng không khí có thể cung cấp dữ liệu quan trọng cho việc quản lý môi trường tại các mỏ đá không chỉ ở hiện tại mà còn trong tương lai khi các mỏ này được mở rộng.

Gần đây, sự phát triển nhanh chóng của công nghệ máy bay không người lái (UAV) đã mang lại lợi ích cho nhiều lĩnh vực cả quân sự và dân sự như: hậu cần và vận tải [4, 12], quản lý rủi ro và môi trường [9] và quản lý đô thị [5]. Những thành công ban đầu của việc ứng dụng UAV đã chứng minh công nghệ này đầy triển vọng và có khả năng được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

Khảo sát địa hình sử dụng UAV về quản lý kho quặng khoáng sản đã được thực hiện bởi Cryderman vào năm 2014 [3]. Các tác giả này đã sử dụng dữ liệu địa hình để ước tính khả năng chứa và vận chuyển quặng. Bên cạnh đó, Lee và Choi đã chứng minh rằng các loại UAV cánh cố định và cánh quay là những loại phổ biến nhất có thể được sử dụng hiệu quả với các mỏ lộ thiên quy mô lớn và nhỏ như một công cụ khảo sát địa hình [6]. Để quan trắc chất lượng không khí tại các khu mỏ lộ thiên, kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm và thực địa do Alvarado, Miguel, Felipe Gonzalez [1] tiến hành đã chứng minh tính khả thi của việc kết hợp cảm biến bụi quang điện tử với UAV.

Trong những năm gần đây, các hệ thống dựa trên UAV đã được xem xét để quan trắc ô nhiễm bụi bao gồm các hạt bụi PM1.0, PM2.5, PM10 [2, 11]. Máy bay không người lái DJI Matrice 600 Pro với sáu cánh quạt là loại được sử dụng phổ biến nhất nhờ khả năng mang trọng tải lên đến 6 kG. Tuy nhiên, với giá thành khá cao (> 5,000 USD) và trọng lượng tương đối lớn (>10 kG) là một trở ngại khi áp dụng vào các mỏ khai thác lộ thiên. Do đó, các UAV có trọng lượng nhẹ hơn và chi phí thấp hơn, ví dụ Inspire 2, cần được nghiên cứu và ứng dụng. Ngoài ra, việc dự báo các chỉ

số PM1.0, PM2.5, PM10 đóng vai trò quan trọng trong đánh giá ô nhiễm không khí tại khu vực khai thác. Tổng quan tài liệu cho thấy học máy [7], mạng nơ ron nhân tạo và học sâu [8] là các phương pháp hiện đại sử dụng trong công tác dự báo. Tuy nhiên, ứng dụng học máy để dự báo ô nhiễm bụi vẫn còn hạn chế.

Như đã đề cập ở trên, việc ứng dụng UAV đã được chứng minh là một công cụ thay thế hiệu quả để việc quan trắc chất lượng không khí. Trong nghiên cứu này, một hệ thống dựa trên công nghệ UAV chi phí thấp đã được sử dụng tại các mỏ đá Tân Mỹ và Thường Tân ở tỉnh Bình Dương, hai trong những mỏ đá lớn nhất ở miền Nam. UAV chi phí thấp này đặt tên là UMS-AM, được thiết kế để thu thập nhiều loại dữ liệu có thể được sử dụng để tối ưu hóa hoạt động khai thác và quan trắc môi trường không khí. Ở đây, nghiên cứu tập trung vào việc quan trắc môi trường không khí tại các mỏ đá bằng UMS-AM và mạng nơ ron nhân tạo nhiều lớp (MLP Neural Nets) để dự báo ba loại bụi ô nhiễm PM1.0, PM2.5 và PM10, và cuối cùng tạo ra mô hình 3D cho các loại bụi mịn này trên khu vực thực nghiệm.

2. DỮ LIỆU, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Máy bay không người lái (UAV)

UAV được phân loại dựa trên các đặc điểm khác nhau nhưng có liên quan chặt chẽ như kích thước và trọng tải, loại cánh, thời gian bay, độ cao bay và các khả năng khác. Phân loại theo kiểu cánh thì có hai loại chính là UAV cánh quay và UAV cánh cố định. Đối với cánh cố định phù hợp với các công tác cần thời gian bay dài hơn nhưng cần không gian rộng để cất cánh và hạ cánh. Mặc dù loại cánh quay sử dụng pin có thời gian bay ngắn hơn nhưng nó ngày càng phổ biến bởi khả năng cất cánh và hạ cánh thẳng đứng trong không gian nhỏ và duy trì vị trí. Vì vậy trong nghiên cứu này, UAV cánh quay được xem là khả thi cho hệ thống. Cụ thể, các đặc điểm của UAV loại Inspire 2 cánh quay được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số chính của Inspire 2 sử dụng trong nghiên cứu

STT	Thông số	Inspire 2
1	Trọng lượng	4000 G
2	Pin	4280 mAh
3	Máy ảnh	CMOS, 1" 20 MP
4	Thời gian bay tối đa	Xấp xỉ 27 phút
5	Tốc độ hành trình	- Chế độ P/A: 16.4 ft/s (5 m/s) - Chế độ S: 19.7 ft/s (6 m/s)
6	Phạm vi kết nối	7 km
7	Tải trọng	Xấp xỉ 1.9 kG

Nhiều loại UAV hiện đang có sẵn cho ngành khai thác mỏ, tuy nhiên, giá thành cao là vấn đề chính. Ngoài ra, trọng tải cũng là một vấn đề quan trọng vì một số cảm biến và phụ kiện đo lường chất lượng không khí được gắn trên UAV. Với mục đích này, DJI Inspire 2 (Hình 1) đã được cân nhắc sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 1. DJI Inspire 2
(nguồn: <https://www.dji.com>)

2.2. Mạng cảm biến

2.2.1. Các thông số của máy ảnh trên Inspire 2 (cảm biến quang học)

DJI Inspire 2 được trang bị Zenmuse X4S, một camera mạnh mẽ với cảm biến 1-inch có độ phân giải 20 megapixel. Dải động được tăng lên một bước so với Zenmuse X3, với tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu và độ nhạy màu tăng 1,5 bước để đạt chất lượng hình ảnh cao hơn. Zenmuse X4S sử dụng ống kính nhỏ gọn do DJI thiết kế với độ tán xạ thấp và độ méo thấp, tương đương với ống kính tiêu cự 24 mm. Ống kính có độ phân giải cao với góc nhìn 84° này giúp Zenmuse X4S trở nên mạnh mẽ trong việc chụp ảnh từ trên không cũng như trên mặt đất. Kết hợp với hệ thống xử lý hình ảnh mạnh mẽ

CineCore 2.0 của Inspire 2, camera có thể ghi video 4K/60 H.264 và 4K/30 H.265 với tốc độ bit 100 Mbps và video 5.2K được lấy mẫu thành video 4K trong thời gian thực, nắm bắt chi tiết hình ảnh mịn màng. Hơn nữa, ở chế độ Burst Mode, Zenmuse X4S hỗ trợ chụp liên tiếp 14 khung hình mỗi giây ở độ phân giải 20-megapixel ở cả định dạng JPEG và DNG, do đó đạt được sự cân bằng giữa tính linh hoạt và chất lượng hình ảnh (<https://www.dji.com/zenmuse-x4s>).

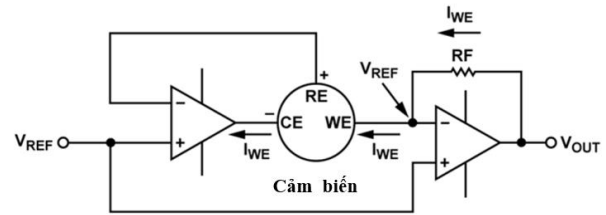
Trong nghiên cứu này, cùng với Zenmuse X4S, một số cảm biến khác đã được sử dụng để đo lường các loại khí độc khác nhau trong không khí, bao gồm Carbon Monoxide (CO), Nitric Oxide (NO), Nitrogen Dioxide (NO₂), Sulfur Dioxide (SO₂), và bụi với PM2.5, PM10. Đặc biệt, các cảm biến từ Alphasense, bao gồm CO-B4, NO-B4, NO₂-B43F và SO₂-B4 đã được sử dụng để đo khí độc. Hầu hết các cảm biến sử dụng bảng cảm biến cá nhân (ISB) với bốn điện cực để chuyển đổi tín hiệu ADC với độ phân giải 12-bit. Để đo khí độc, ISB sử dụng chip ADC để đo lượng dòng điện rất nhỏ và chuyển đổi nó thành nồng độ khí theo phần triệu (ppm). Ví dụ, CO-B4 có nồng độ tối đa là 2.000 ppm và chuyển đổi dòng điện trong khoảng từ 420 nA đến 650 nA ở mức 2 ppm. NO-B4 có độ nhạy từ 500 nA đến 850 nA ở mức 2 ppm và nồng độ tối đa là 50 ppm. NO₂-B43F chuyển đổi từ -200 nA đến -650 nA ở mức 2 ppm và có nồng độ tối đa là 50 ppm. SO₂-B4 đo và chuyển đổi từ 275 nA đến 520 nA ở mức 2 ppm và có nồng độ tối đa là 200 ppm.

Dòng B4 (cảm biến 4 điện cực) cung cấp cho các nhà sản xuất thiết bị gốc (OEM) những cảm



biến đáng tin cậy cho nhiều ứng dụng có khối lượng lớn, đặc biệt là các mạng lưới chất lượng không khí yêu cầu mức phát hiện nồng độ theo tỷ lệ phần tỷ (ppb). Các mức tín hiệu mạnh kết hợp với dòng điện không tải thấp cho phép độ phân giải dưới 10 (ppb) và một dải hoạt động rộng. Các cảm biến này phù hợp cho đầu dò lắp cố định, thiết bị an toàn di động, giám sát không khí đô thị/nội thất và phân tích khí thải. Ngoài ra, dòng cảm biến B4 còn đảm bảo không rò rỉ chất điện phân và hiệu suất phát hiện đáng tin cậy trong thời gian dài. Vỏ không rò rỉ được đúc với phần đầu mã màu để dễ dàng nhận diện.

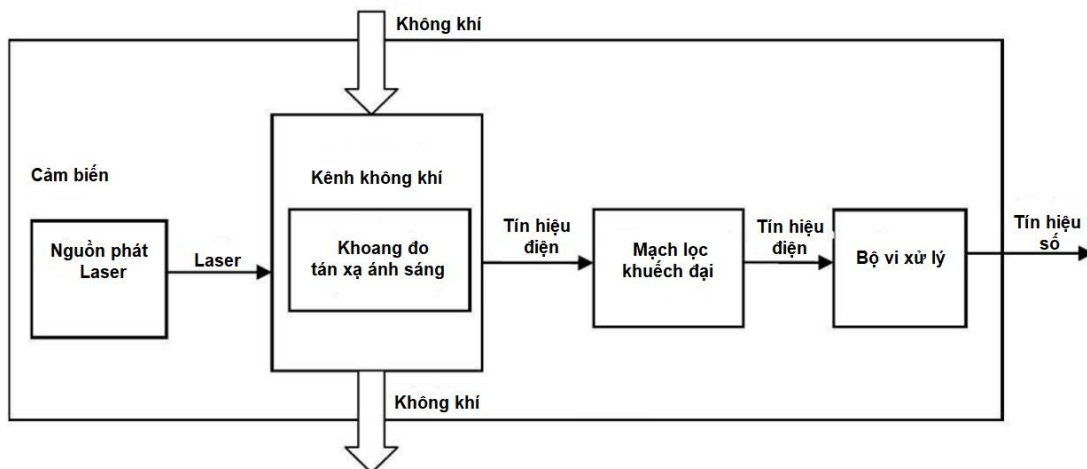
Hình 2 cho thấy sơ đồ đơn giản của mạch đo cảm biến điện hóa. Các cảm biến điện hóa cho phép khí khuếch tán vào cảm biến qua một màng và tương tác với điện cực làm việc (WE). Điện cực tham chiếu của cảm biến (RE) cung cấp phản hồi để duy trì điện thế không đổi với đầu cuối WE bằng cách thay đổi điện áp tại điện cực đối (CE). Hướng của dòng điện tại đầu cuối WE phụ thuộc vào phản ứng đang xảy ra là quá trình oxy hóa hay khử. Trong trường hợp của carbon monoxide, quá trình oxy hóa xảy ra; do đó, dòng điện chảy vào điện cực làm việc, điều này yêu cầu điện cực đối phải có điện áp âm (thường là từ 300 mV đến 400 mV) đối với điện cực làm việc. Do đó, op-amp điều khiển đầu cuối CE nên có dải điện áp đầu ra khoảng ± 1 V so với VREF để cung cấp đủ không gian cho hoạt động với các loại cảm biến khác nhau (Alphasense Application Note AAN-105-03, Thiết kế mạch Potentiostatic, Alphasense, Ltd).



Hình 2. Mạch cảm biến điện hóa học đơn giản

Cảm biến PMS5003, có khả năng đo bụi từ 0,3 μm đến 10 μm , được sử dụng để đo lường bụi. Nó sử dụng giao tiếp nối tiếp (ví dụ: giao thức truyền với tốc độ baud 9600 bps, một bit dừng, và không có bit kiểm tra) với mức TTL 3,3 V để truyền dữ liệu đến Vi điều khiển. PMS5003 là một cảm biến đo nồng độ hạt kỹ thuật số và phổ biến, có thể được sử dụng để xác định số lượng hạt lơ lửng trong không khí, tức là nồng độ hạt, và xuất chúng dưới dạng giao diện kỹ thuật số. Ngoài ra, cảm biến này có thể được tích hợp vào các thiết bị biến đổi liên quan đến nồng độ hạt lơ lửng trong không khí hoặc các thiết bị cải thiện môi trường khác để cung cấp dữ liệu nồng độ chính xác kịp thời.

Nguyên lý tán xạ laser được sử dụng cho các cảm biến loại này, tức là tạo ra sự tán xạ bằng cách sử dụng laser để chiếu xạ các hạt lơ lửng trong không khí, sau đó thu thập ánh sáng tán xạ đến một mức độ nhất định và cuối cùng thu được đường cong của sự thay đổi ánh sáng tán xạ theo thời gian. Cuối cùng, đường kính hạt tương đương và số lượng hạt có đường kính khác nhau trên một đơn vị thể tích có thể được tính toán bởi vì xử lý dựa trên lý thuyết MIE. Sơ đồ khối chức năng của cảm biến bụi được hiển thị trong Hình 3.



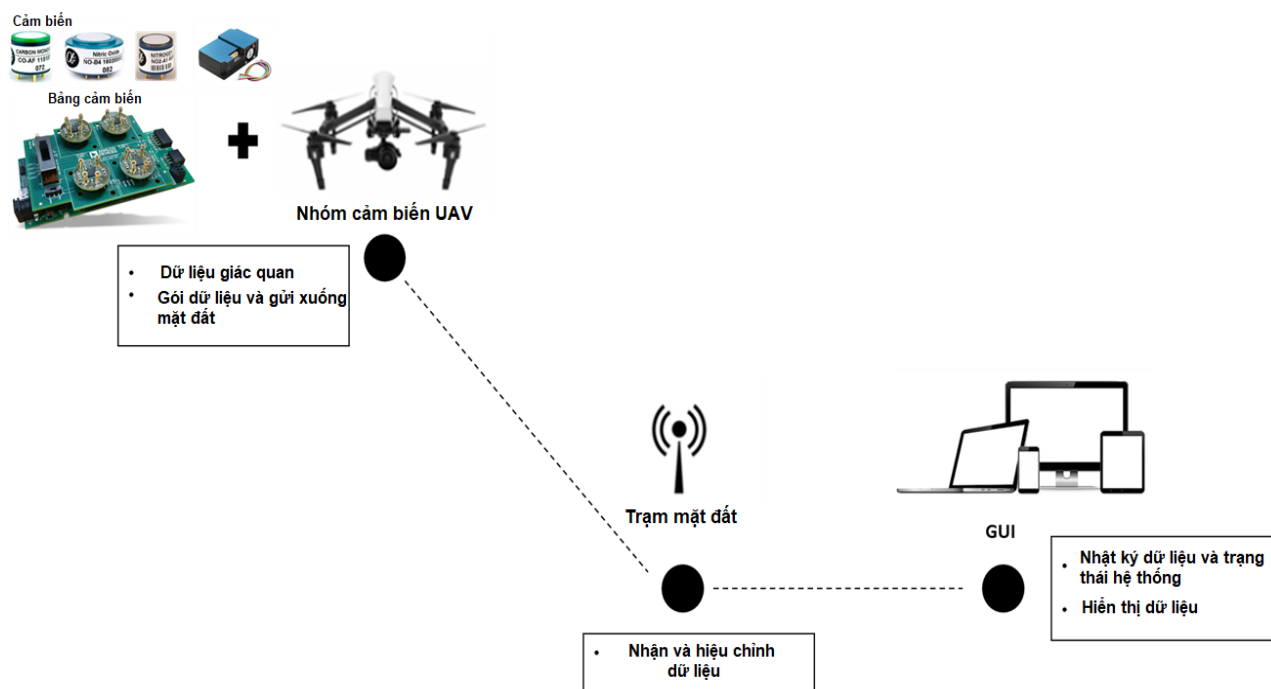
Hình 1. Sơ đồ khối chức năng của cảm biến bụi

2.2.2. Hệ thống quan trắc chất lượng không khí

Để đánh giá chất lượng không khí của mỏ sâu trong dự án này, ba loại bụi ô nhiễm PM_{1.0}, PM_{2.5} và PM₁₀ đã được đo lường. Bảng 2 hiển thị các mô tả chính của các cảm biến được sử dụng trong dự án này. Do giới hạn tải trọng của UAV, các cảm biến nhẹ và nhỏ gọn đã được đóng gói trong một hộp có lỗ và gắn trên thiết bị bay. Hình 4 hiển thị việc lắp đặt hộp giám sát và một bức ảnh của UAV khi đang bay. Liên kết truyền thông đóng vai trò quan trọng giữa việc thu thập và truyền dữ liệu.

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của cảm biến giám sát chất lượng không khí được sử dụng trong nghiên cứu

Thông số	Loại cảm biến	Phạm vi	Sai số	Độ phân giải
PM ₁₀	Cảm biến bụi Laser	0-500 µg/m ³	± 10%	0.3 µg/m ³
PM ₅	Cảm biến bụi Laser	0-500 µg/m ³	± 10%	0.3 µg/m ³
PM ₁	Cảm biến bụi Laser	0-500 µg/m ³	± 10%	0.3 µg/m ³



Hình 4. Cấu trúc của nền tảng giám sát chất lượng không khí dựa trên UAV được sử dụng trong dự án

2.2.3. Các hệ thống giao tiếp và mạng lưới

* Đóng gói dữ liệu từ cảm biến để gửi đến trạm đất

Để truyền dữ liệu từ các cảm biến đến trạm mặt đất, Vi điều khiển nén dữ liệu từ tất cả các cảm biến thành các gói theo giao thức Modbus RTU và gửi đến trạm mặt đất thông qua công nghệ Long Range ở tần số vô tuyến 490MHz. Bên cạnh đó,

Việc truyền dữ liệu cần đảm bảo các yêu cầu về độ ổn định và độ tin cậy khi UAV được trang bị hộp cảm biến giám sát đạt đến độ cao lớn. Do đó, một điện thoại thông minh hoặc máy tính bảng đã được gắn vào hộp giám sát như một trạm tiếp sóng và cũng là một máy phát thu để lưu trữ dữ liệu đo lường. Cấu trúc của nền tảng giám sát chất lượng không khí bằng UAV và khái niệm hệ thống được minh họa trong Hình 4. Trong nghiên cứu này, trước khi cho UAV bay, tất cả các cảm biến đã được hiệu chuẩn.



và I2C. Sau đó, đóng gói dữ liệu này vào giao thức Modbus RTU trước khi truyền tới trạm đất.

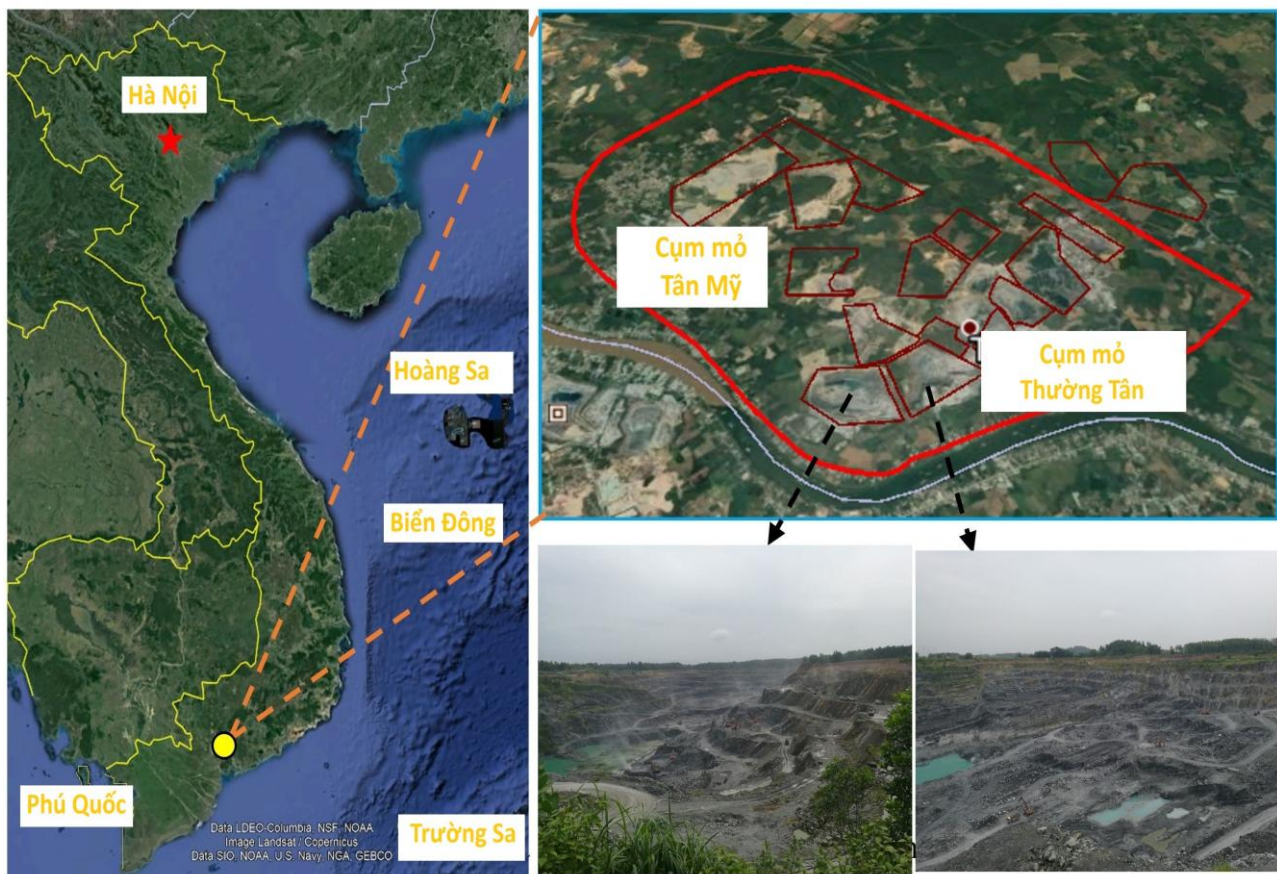
Đầu tiên, một mô-đun truyền thông LoRa (Long-Range) với tần số phát radio 490MHz được kết nối với thiết bị đo để truyền gói Modbus RTU đến trạm đất. Thứ hai, tại trạm đất, nghiên cứu sử dụng các cổng LoRa để thu thập dữ liệu được truyền từ nhiều thiết bị đo (cả di động và trạm cố định), và gửi các gói dữ liệu này đến chương trình giám sát và phân tích được thiết kế và cài đặt trên các máy tính tại trạm đất vào thời gian thực. Ngoài ra, trong các gói dữ liệu, nghiên cứu xác định các thiết bị đo bằng một mã duy nhất cho phép các cổng nhận dạng tín hiệu được truyền từ các thiết bị đo có mã tương ứng. Từ đó, chương trình giám sát và phân tích thời gian thực có thể phân biệt dữ liệu từng thiết bị đo. Cuối cùng, hai trạm giám sát đất được lắp đặt trên đỉnh hồ chủ yếu để giám sát điều kiện khí quyển của dòng không khí tự do, bao gồm áp suất khí quyển, nhiệt độ, tốc độ và hướng gió.

Trong nghiên cứu này, việc giám sát thời gian thực các kết quả đo lường đã được xem xét. Việc truyền dữ liệu trực tiếp đến trạm đất cho phép giám sát và theo dõi sự thay đổi chất lượng không khí

trong suốt thời gian đo lường. Ngoài ra, tại các trạm đo di động và cố định, dữ liệu được sao lưu vào thẻ nhớ trong thời gian thực để tránh mất dữ liệu do mất kết nối giữa trạm đo và trạm đất. Quá trình lưu trữ này cho phép dữ liệu được cập nhật ngay lập tức đến trạm đất khi kết nối lại, tránh gián đoạn dữ liệu trong quá trình giám sát. Nghiên cứu đã sử dụng hai phương pháp đồng thời trong quá trình lưu trữ dữ liệu.

2.3. Khu vực nghiên cứu

Tân Mỹ và Thường Tân (Hình 5) là nhóm mỏ đá lớn nhất ở phía Nam Việt Nam. Những mỏ đá này bao phủ diện tích khoảng 12 km² và cung cấp hàng trăm nghìn tấn đá mỗi năm phục vụ cho công tác xây dựng ở phía Nam. Độ sâu của những mỏ đá này dao động từ khoảng 70 đến 100 m. Bụi từ các khu vực khai thác mỏ có thể gây kích ứng mắt, da và đường hô hấp và việc tiếp xúc kéo dài có thể dẫn đến một loạt các bệnh phổi nghiêm trọng bao gồm bệnh bụi phổi silic, bệnh bụi phổi thợ mỏ CWP (coal workers' pneumoconiosis), bệnh phổi tắc nghẽn mãn tính COPD (chronic obstructive pulmonary disease) và ung thư phổi.



Hình 5. Vị trí các mỏ đá Tân Mỹ và Thường Tân

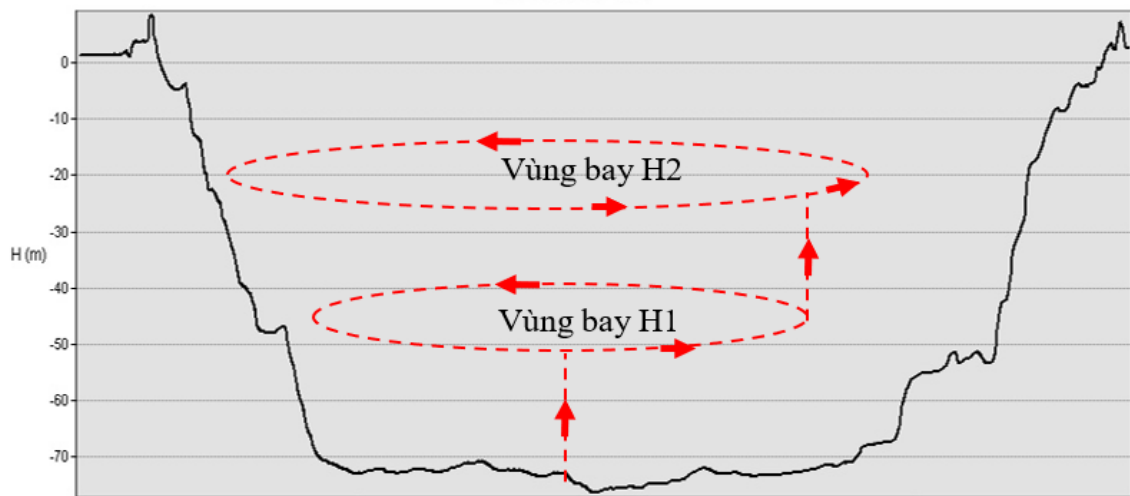


2.4. Đo đạc, quan trắc chất lượng không khí mỏ

Nghiên cứu này tập trung vào các mục tiêu nghiên cứu sau: (1) giám sát môi trường không khí tại các mỏ đá bằng UMS-AM; (2) dự báo mật độ các thành phần không khí bằng mạng nơ ron nhân tạo nhiều lớp (MLP Neural Nets); và (3) xây dựng mô hình 3D không khí mỏ và đánh giá độ chính xác của các mô hình đó. Trong các mỏ đá khai thác sâu, sự phân tán khói bụi ô nhiễm phụ thuộc vào gió cũng như sự khác biệt về mật độ không khí giữa bên trong và bên ngoài mỏ. Thiết bị bay không

người lái UAV có thời gian bay ngắn hơn với tải trọng lớn hơn do giới hạn dung lượng pin. Trong nghiên cứu này, tổng tải trọng thiết bị bay, bao gồm cảm biến và các phụ kiện khác, là 1kg và tổng thời gian bay khoảng 25 phút. Tuy nhiên, thời gian bay thực tế bị rút ngắn còn 15 phút do cần thời gian khởi động và hạ cánh.

Hình 6 thể hiện các đường bay trong đo đạc môi trường không khí mỏ. Khu vực bay trong mỏ được chia thành hai phần: H1 ở độ cao 45 m và H2 ở độ cao 20 m (Hình 6). Dữ liệu được thu thập phục vụ cho thành lập bản đồ bụi 3D.



Hình 6. Đường bay của UAV trong quan trắc môi trường không khí tại một mỏ đá

Trong nghiên cứu này, 879 điểm đo đạc đã được thu thập bởi hệ thống UMS-AM. Do bụi được coi là chất ô nhiễm chính được tạo ra bởi quá trình

khai thác của các mỏ đá, kết quả quan trắc bụi trong mỏ bao gồm các loại bụi PM1.0, PM2.5 và PM10.

Bảng 3. Kết quả thống kê dữ liệu quan trắc không khí

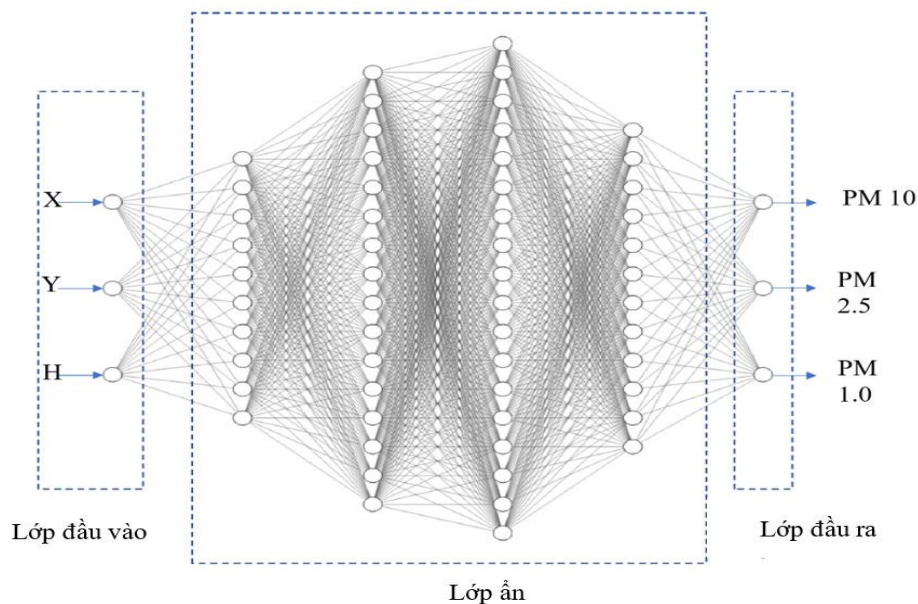
Đại lượng thống kê	Độ vĩ X (độ)	Độ kinh Y (độ)	Độ cao H (m)	PM1.0	PM2.5	PM10
				(µg/m ³)		
Trung bình	11,043	106,881	24,641	18,912	25,661	27,451
Độ lệch chuẩn	0,0008	0,0005	5,590	6,200	10,118	12,122
Giá trị nhỏ nhất	11,042	106,880	2,350	12	15	15
Giá trị lớn nhất	11,045	106,882	30,350	60	84	108

2.5. Mạng nơ ron nhân tạo đa lớp

Trong nghiên cứu này, để dự báo mật độ các thành phần không khí trong mỏ đá tương ứng với thời điểm các mỏ được mở rộng trong tương lai với sản lượng và độ sâu lớn hơn, mạng nơ ron nhân tạo đa lớp (MLP Neural Nets) đã được áp dụng. Mạng nơ ron nhân tạo đa lớp được lựa chọn vì chúng có thể dự báo kết quả một cách chính xác.

Hình 7 thể hiện cấu trúc của mô hình mạng nơ ron nhân tạo đa lớp được áp dụng trong nghiên cứu này. Mạng lưới được sử dụng bao gồm ba lớp:

Lớp đầu vào với ba nơ ron tương ứng với tọa độ điểm quan trắc X, Y, H; bốn lớp ẩn với tổng cộng 56 nơ ron; lớp đầu ra gồm ba nơ ron tương ứng với các loại bụi được dự báo PM1.0, PM2.5, và PM10. Hàm kích hoạt được sử dụng là hàm sigmoid dùng để kết nối lớp đầu vào với lớp ẩn, trong khi hàm purelin được sử dụng làm hàm lan truyền giữa lớp ẩn và lớp đầu ra. Mô hình được thiết lập sử dụng công cụ mạng lưới nơ ron nhân tạo trong phần mềm Matlab 2019b.



Hình 7. Cấu trúc mạng nơ ron nhân tạo đa lớp được sử dụng để dự báo các thành phần không khí.

Mô hình mạng nơ ron nhân tạo nhận thông tin qua lớp đầu vào, và thông qua các hàm kích hoạt để tính toán và chuyển tiếp qua mỗi lớp ẩn. Cuối cùng, kết quả sẽ được tính toán và chuyển qua lớp đầu ra. Kết quả dự báo bằng mạng nơ ron nhân tạo phụ thuộc vào quá trình huấn luyện. Trong nghiên cứu này, quá trình huấn luyện dựa trên phương pháp học có giám sát với dữ liệu đầu vào và yêu cầu của dữ liệu đầu ra. Dữ liệu đầu vào của mô hình bao gồm tọa độ của các điểm quan trắc không khí được đo đạc bởi hệ thống định vị toàn cầu GNSS gắn trên UAV. 70% dữ liệu được sử dụng để huấn luyện mô hình và 30% dữ liệu còn lại được sử dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình. Ba thành phần tọa độ X, Y và H là các biến đầu vào, và PM1.0, PM2.5 và PM10 là các biến đầu ra.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

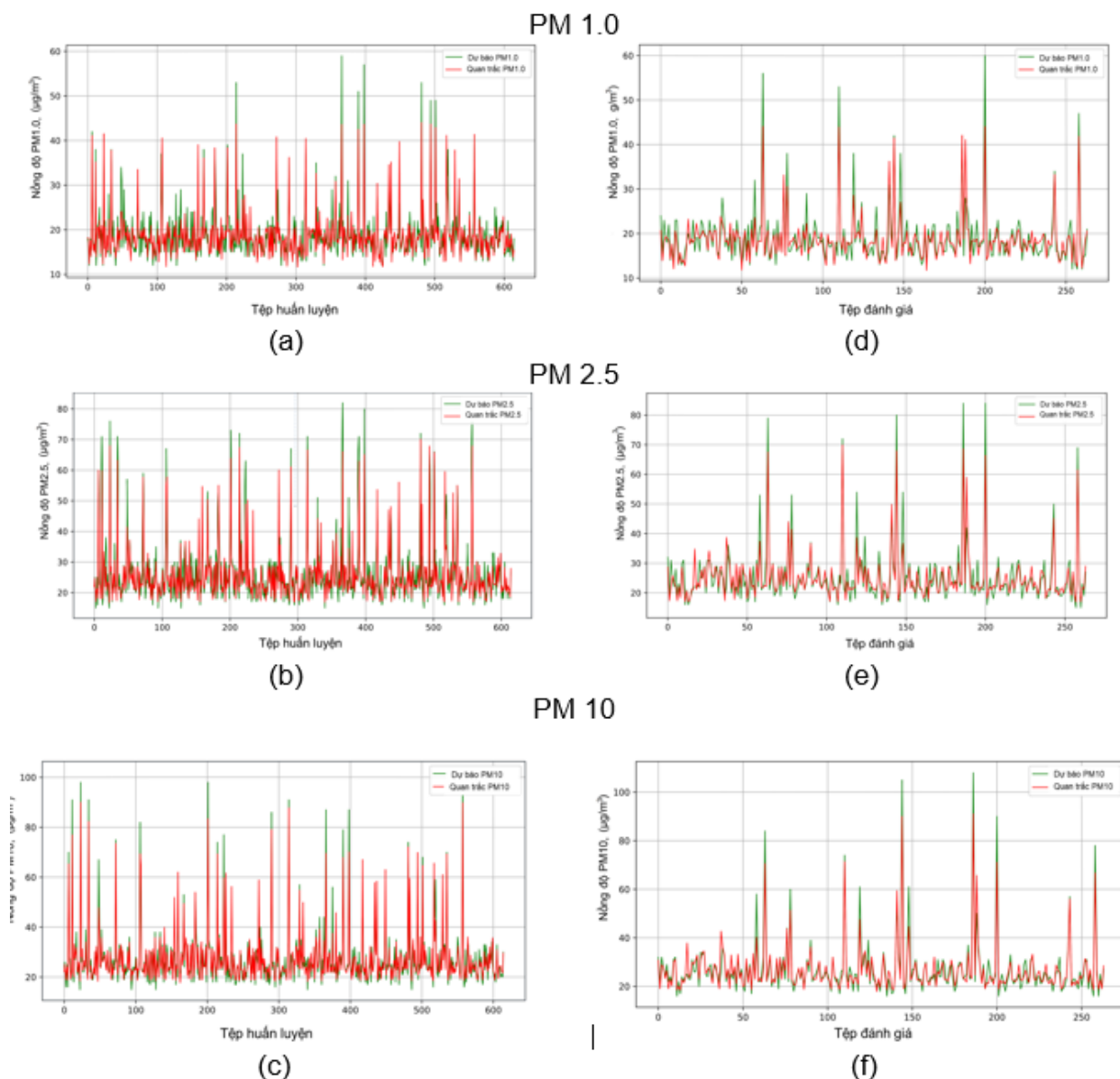
Để đánh giá hiệu suất của mô hình mạng nơ ron nhân tạo được đề xuất trong nghiên cứu này, toàn bộ tập dữ liệu đo đạc được chia thành tập dữ liệu huấn luyện với 615 điểm (70%) và tập dữ liệu

đánh giá với 264 điểm còn lại (30%). Trước tiên, mô hình được huấn luyện dựa trên tập dữ liệu huấn luyện, từ đó các tham số của mô hình được tính toán. Các tham số này sau đó được áp dụng cho tất cả các điểm, bao gồm cả tập huấn luyện và tập kiểm tra để tiến hành đánh giá mô hình thông qua so sánh kết quả giữa giá trị dự báo và giá trị đo, với các đại lượng thống kê (độ lệch lớn nhất, nhỏ nhất, và trung bình) được thể hiện trên Bảng 4.

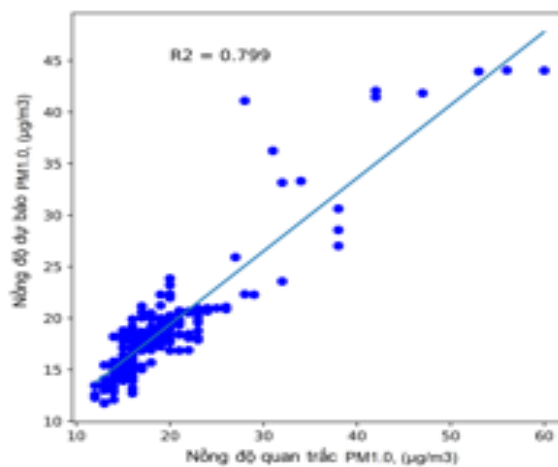
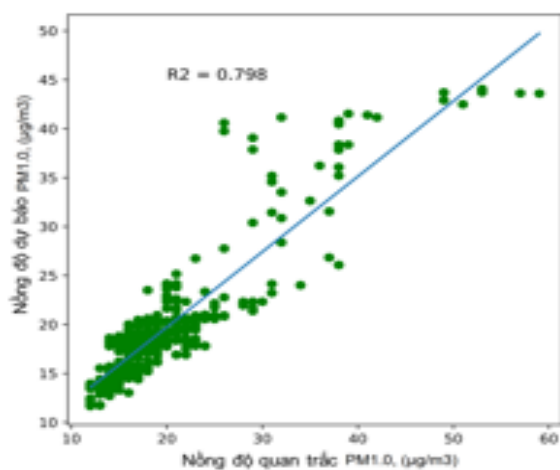
Độ lệch lớn nhất và nhỏ nhất giữa các giá trị bụi PM1.0, PM2.5, và PM10 được dự báo và giá trị đo đạc tương ứng là $[12-60] \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[15-84] \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[15-108] \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hình 8 so sánh các giá trị dự báo và giá trị quan trắc của mô hình tương ứng với các loại bụi PM1.0, PM2.5 và PM10 với các tập dữ liệu huấn luyện (bên trái) và đánh giá (bên phải), với các giá trị tương quan tương ứng được hiển thị trên Hình 9. Kết quả thể hiện các giá trị dự báo tương ứng với khi mở đá được khai thác đến độ sâu -150 m. Bảng 4, Hình 8 và Hình 9 cho thấy mạng nơ ron nhân tạo đa lớp trông nghiên cứu này có hiệu suất tốt trong việc dự báo nồng độ bụi.

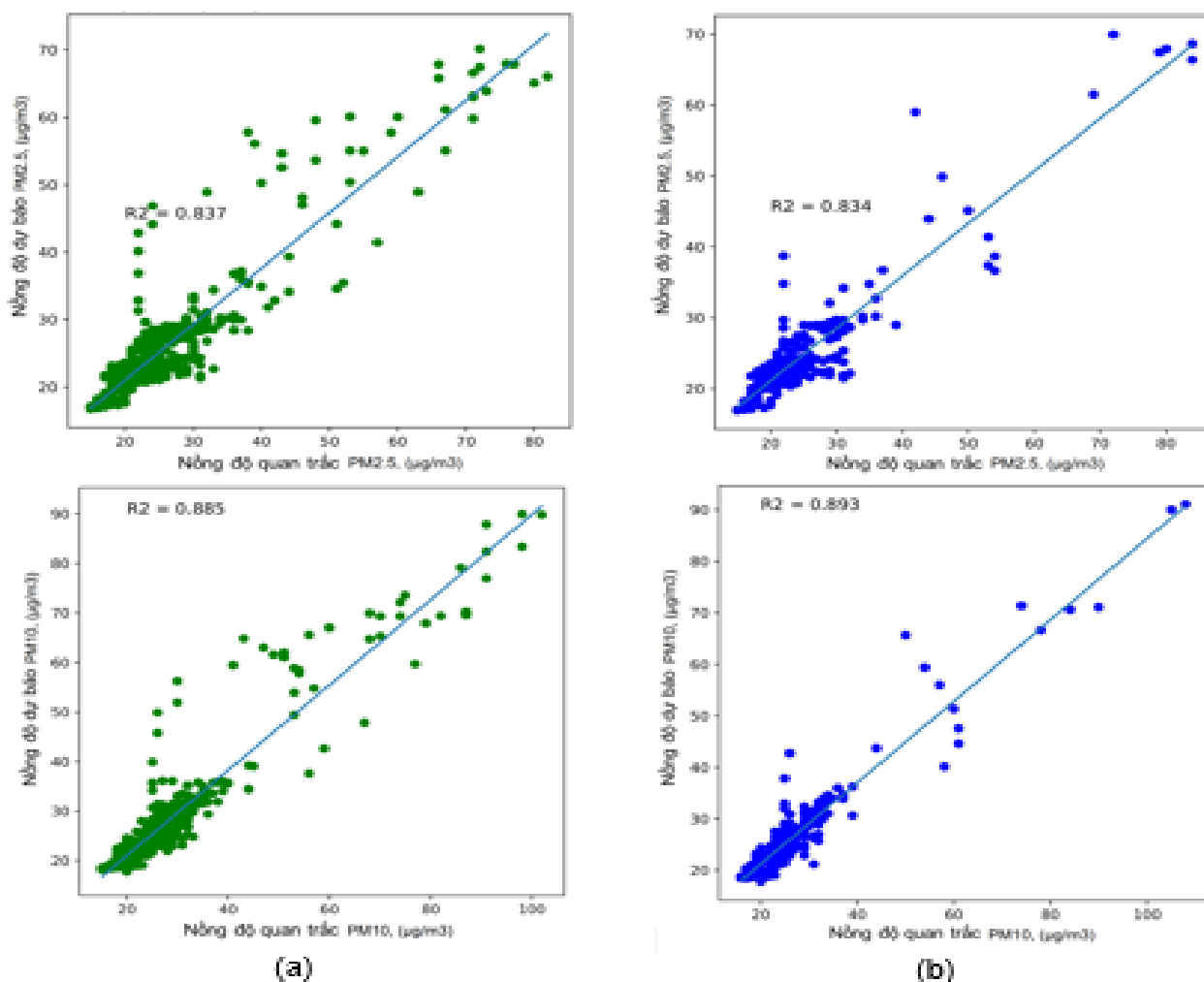
Bảng 4. Các đại lượng thống kê độ lệch giữa kết quả dự báo và kết quả quan trắc dựa trên tập dữ liệu huấn luyện và đánh giá (Đơn vị: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Đại lượng thống kê	Tập huấn luyện (80%)			Tập đánh giá (20%)		
	PM 1.0	PM 2.5	PM 10	PM 1.0	PM 2.5	PM 10
Lớn nhất	59	82	102	60	84	108
Nhỏ nhất	12	15	15	12	15	16
Trung bình	18.85	25.72	27.56	19.05	25.49	27.2



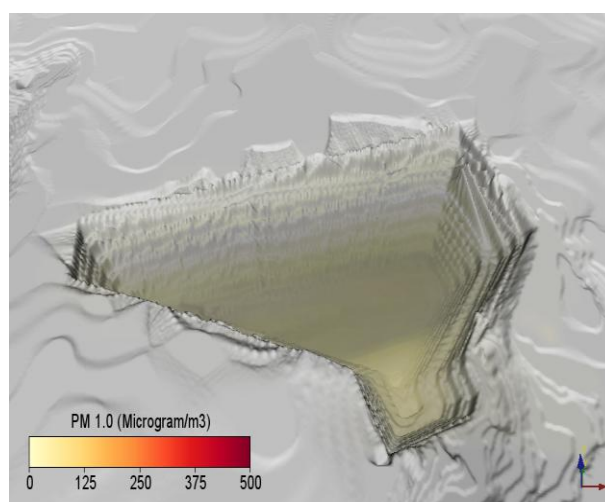
Hình 8. So sánh giữa giá trị dự báo và quan trắc từ tập dữ liệu huấn luyện (a, b, c) và tập dữ liệu kiểm tra (d, e, f).



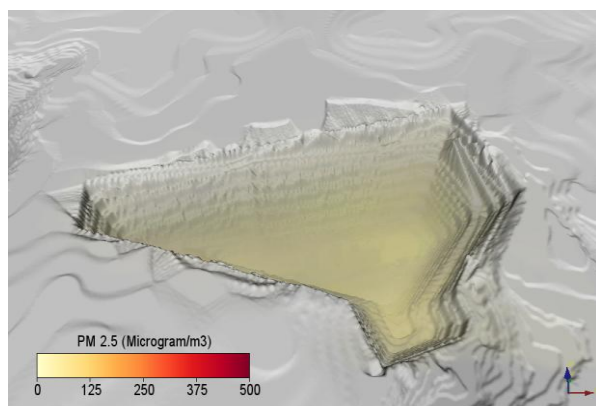


Hình 9. Tương quan giữa nồng độ PM1.0, PM2.5 và PM10 dự báo và quan trắc.
(a) Tập dữ liệu huấn luyện; (b) Tập dữ liệu kiểm tra.

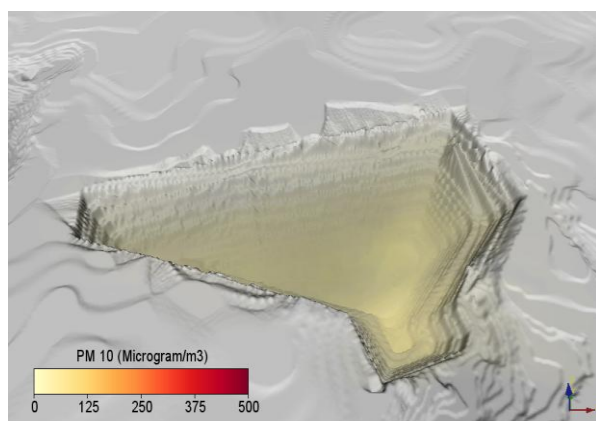
Để xây dựng các mô hình 3D thành phần không khí giúp trực quan hóa chất lượng không khí trên toàn bộ mỏ đá, phương pháp nội suy trilinear [13] trong phần mềm Voxler (<https://www.goldensoftware.com>) đã được sử dụng. So với các phương pháp nội suy không gian khác, chẳng hạn như phương pháp láng giềng gần nhất, phương pháp này phù hợp hơn trong việc mô hình hóa các thành phần không khí trong không gian 3D [10]. Đây là phương pháp nội suy tuyến tính với được mở rộng cho không gian 3D. Hình 10 hiển thị các mô hình 3D được xây dựng trong nghiên cứu này.



(a)



(b)



(c)

Hình 10. Các mô hình bụi 3D trong các mỏ đã được tạo ra bởi mô hình mạng nơ ron nhân tạo đa lớp: (a) PM 1.0, (b) PM 2.5, và (c) PM 10.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, hệ thống chất lượng không khí trong các mỏ ở Việt Nam được đề xuất trên cơ sở sử dụng thiết bị bay không người lái UAV. Hệ thống UAV áp dụng gồm máy bay DJI Inspire 2 được trang bị máy ảnh RGB Zenmuse X4S, cảm biến giám sát chất lượng không khí và hệ thống ghi nhận dữ liệu. Hệ thống được thiết kế đã được chứng minh là một công cụ an toàn, hiệu quả và kinh tế cho công tác quản lý môi trường mỏ ở Việt Nam. Bên cạnh đó, một số hạn chế gặp phải trong quá trình nghiên cứu liên quan tới bản thân hệ thống UAV, bao gồm hạn chế về tải trọng cho phép của UAV là vấn đề đáng kể nhất cho mục đích giám sát. Một trong những lợi thế của hệ thống UAV chi phí thấp là hệ thống được trang bị cảm biến đáng tin cậy với chi phí thấp, cho thấy rõ khả năng áp dụng của hệ thống giám sát môi trường mỏ trong các mỏ đá. Mô hình mạng nơ ron nhân tạo đa lớp có thể được sử dụng để dự báo nồng độ thành phần không khí theo thời gian với tập dữ liệu đầu vào được cung cấp bởi hệ thống dựa trên UAV. Cuối cùng, hệ thống có thể đưa ra các biện pháp kiểm soát ô nhiễm vì các hồ sơ ô nhiễm không khí được hiển thị rõ trong mô hình 3D, góp phần tích cực và hiệu quả vào kiểm soát thực trạng phát thải khí nhà kính ở các khu vực khai thác mỏ lộ thiên □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Alvarado, Miguel et al. (2015). "Towards the Development of a Low Cost Airborne Sensing System to Monitor Dust Particles after Blasting at Open-Pit Mine Sites", *Sensors*. 15(8), tr. 19667.
- [2]. Cárdenas, Andrés M et al. (2018), "Pollution-and-greenhouse gases measurement system", *Measurement*. 129, tr. 565-568.
- [3]. Cryderman, Chris, Mah, S. Bill and Shufletoski, Aaron (2014), "Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations", *GEOMATICA*. 68(4), tr. 309-317.
- [4]. Haidari, Leila A. et al. (2016), "The economic and operational value of using drones to transport vaccines", *Vaccine*. 34(34), tr. 4062-4067.
- [5]. Khan, Muhammad Arsalan et al. (2017), "UAV-Based Traffic Analysis: A Universal Guiding Framework Based on Literature Survey", *Transportation Research Procedia*. 22, tr. 541-550.
- [6]. Lee, S. và Choi, Y. (2015), "On-site demonstration of topographic surveying techniques at open-pit mines using a fixed-wing unmanned aerial vehicle (drone)", *Tunnel & Underground Space*. 25, tr. 527-533.
- [7]. Madokoro, Hirokazu et al. (2021), "Development of drone-mounted multiple sensing system with advanced mobility for in situ atmospheric measurement: A case study focusing on PM2. 5 local distribution", *Sensors*. 21(14), tr. 4881.
- [8]. Masoud, Sara et al. (2021), "A Sensor-Based Data Driven Framework to Investigate PM 2.5 in the Greater Detroit Area", *IEEE Sensors Journal*. 21(14), tr. 16192-16200.



- [9]. Mourato, Sandra et al. (2017), Improving a DSM Obtained by Unmanned Aerial Vehicles for Flood Modelling, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing.
- [10]. Nguyen, L. Q. et al. (2020), "3D spatial interpolation methods for open-pit mining air quality with data acquired by small UAV based monitoring system", *Inżynieria Mineralna*.
- [11]. Nguyen, Quoc Long et al. (2020), "3D spatial interpolation methods for open-pit mining air quality with data acquired by small UAV based monitoring system", *Inżynieria Mineralna*. 1(2), tr. 263-272.
- [12]. Olivares, Víctor et al. (2015), "Modeling Internal Logistics by Using Drones on the Stage of Assembly of Products", *Procedia Computer Science*. 55, tr. 1240-1249.
- [13]. Sarmad, Muhammad, Ruspini, Leonardo Ca'rllos and Lindseth, Frank (2023), "SIT-SR 3D: Self-supervised slice interpolation via transfer learning for 3D volume super-resolution", *Pattern Recognition Letters*. 166, tr. 97-104.

APPLICATION OF LOW-COST UAV INTEGRATED WITH AIR QUALITY MONITORING SENSORS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO SIMULATE AIR POLLUTION AT A STONE QUARRY

My Chi Vo^{1*}, Truc Kim Kieu¹, Long Quoc Nguyen², Huy Dinh Nguyen³

¹ Vietnam Mining Science and Technology Association, 226 Le Duan, Ha Noi, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien St., Ha Noi, Vietnam

³ Hanoi University of Civil Engineering, 55 Giai Phong, Ha Noi, Viet Nam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 08/10/2024

Revised: 05/11/2024

Accepted: 10/11/2024

^{1,*} Corresponding author: * vochimytdm@gmail.com

ABSTRACT

This paper evaluates the application of low-cost unmanned aerial vehicles (UAVs) with integrated air quality monitoring sensors UMS-AM in environmental monitoring and assessment in construction-stone mining areas and predicting the density of PM (Particulate Mater) components using multi-layer artificial neural networks (MLP Neural Nets). To achieve these goals, DJI Inspire 2 drones equipped with PM1.0, PM2.5 and PM10 fine dust sensors were used for experimental measurements at two stone quarries Tan My and Thuong Tan in Binh Duong province. In addition, MLP Neural Nets were used to predict the density of air PM (Particulate Mater) components in the stone quarries when the production process is expanded with deep mining modules and larger modules in the future. Finally, 3D simulation models of PM1.0, PM2.5 and PM10 indexes were built. The results of the study show that low-cost dust monitoring in quarry areas using UAVs is completely feasible and should be considered for application in other open-pit mines, contributing positively and effectively to the control of greenhouse gas emissions in open-pit mining areas.

Keywords: Sensor network, air quality monitoring, unmanned aerial vehicles, open-pit mine/stone quarries, neural network creation.

@ Vietnam Mining Science and Technology Association