



ỨNG DỤNG AI VÀ BIG DATA VÀO GIÁM SÁT, DỰ BÁO Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ: Kinh nghiệm của một số quốc gia trên thế giới và đề xuất giải pháp cho Việt Nam

TRẦN HỮU SỸ¹

¹ Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt

Ô nhiễm không khí (ÔNKK) hiện được xem là một trong những mối đe dọa nghiêm trọng nhất đối với sức khỏe cộng đồng và con đường hiện thực hóa mục tiêu phát triển bền vững (PTBV) toàn cầu. Trước thực tế này, ngày càng nhiều quốc gia trên thế giới ưu tiên lựa chọn công nghệ hiện đại, xem đây là giải pháp chủ lực trong cuộc chiến chống ÔNKK, trong đó, trí tuệ nhân tạo (AI) và dữ liệu lớn (Big Data) đang nổi lên như những công cụ đột phá, giúp phân tích dữ liệu môi trường phức tạp từ nhiều nguồn khác nhau. Nhờ khả năng xử lý nhanh, chính xác, các hệ thống này có thể nhận diện “điểm nóng” ô nhiễm theo thời gian thực; mô phỏng xu hướng phát tán chất độc hại, đồng thời cung cấp nền tảng khoa học để xây dựng chính sách ứng phó hiệu quả, kịp thời. Bài viết giới thiệu một số quốc gia tiêu biểu trên thế giới đã ứng dụng thành công AI và Big Data vào giám sát, dự báo ÔNKK, từ đó đề xuất hướng đi phù hợp cho Việt Nam.

Từ khóa: ÔNKK, AI, Big Data, giám sát, dự báo.

JEL Classifications: Q53, Q55, Q56, O13.

1. MỘT SỐ QUỐC GIA TIÊU BIỂU ỨNG DỤNG THÀNH CÔNG AI VÀ BIG DATA VÀO GIÁM SÁT, DỰ BÁO Ô NHIỄM KHÔNG KHÍ

Những năm gần đây, AI, Big Data nổi lên như một công cụ công nghệ được sử dụng rộng rãi để kiểm soát, giảm thiểu tác hại của các chất độc hại gây ÔNKK, tạo ra sự quan tâm đáng kể trong lĩnh vực khoa học, môi trường và y tế [7]. Sự phát triển của internet ở thế kỷ XXI đã cho phép AI đạt được tiềm năng đầy đủ và ứng dụng công nghệ này để mô hình hóa các vấn đề môi trường phức tạp, nhất là việc điều chỉnh chất lượng không khí (CLKK). Để chẩn đoán, theo dõi, chữa khỏi một số bệnh liên quan đến ÔNKK, nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới đã sử dụng phương pháp tiếp cận AI trong các công cụ ra quyết định chăm sóc sức khỏe [8]. Tiêu biểu như Heuvelmans et al., đã phát triển một phương pháp tiếp cận dựa trên mô hình học sâu để mô phỏng sự tiến triển của tế bào ung thư trong phổi bằng cách sử dụng các tập dữ liệu hình ảnh chụp CT [9]. Polezer et al., lại sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (Multilayer Perceptron (MLP), Echo State Networks (ESN) và Extreme Learning Machines (ELM)) để đánh giá ảnh hưởng tiêu cực của ÔNKK trong khí quyển đến sức khỏe cá nhân [10].

Bài viết này đề cập đến Mỹ, Trung Quốc, Singapo... là những minh chứng cho thấy ứng dụng công nghệ tiên tiến trong giám sát ÔNKK có thể mang lại những kết quả khả quan cả về độ chính xác và phạm vi phủ sóng. Đáng chú ý, ngày càng nhiều người dân trên thế giới chủ động sử dụng các thiết bị và ứng dụng tích

hợp AI để theo dõi CLKK. Điều này không chỉ góp phần nâng cao nhận thức cộng đồng về các vấn đề môi trường, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc bổ sung dữ liệu thực tiễn, góp phần hoàn thiện các hệ thống cảnh báo và quản lý ô nhiễm một cách hiệu quả.

1.1. Mỹ - Quốc gia tiên phong ứng dụng AI và Big Data vào quản lý CLKK

Mỹ đã xây dựng nhiều hệ thống giám sát hiện đại, hỗ trợ hiệu quả cho việc kiểm soát ô nhiễm đô thị, trong đó phải kể đến Hệ thống AirNow do Cơ quan BVMT Hoa Kỳ (EPA) vận hành. Hệ thống này thu thập dữ liệu từ hơn 4.000 trạm quan trắc trên toàn quốc, kết hợp thuật toán AI để phân tích, cung cấp thông tin CLKK theo thời gian thực. Mỗi năm, hơn 100 triệu người dân ở Mỹ truy cập AirNow qua website, ứng dụng di động và bảng điện tử công cộng. Theo thống kê từ EPA, nhờ áp dụng công nghệ này, số ngày có mức ô nhiễm cao tại các thành phố lớn đã giảm từ 8 - 10% chỉ trong vòng 5 năm [1].

Bên cạnh đó, Hệ thống cảm biến TEMPO - Một thiết bị quang phổ kế được gắn trên vệ tinh quỹ đạo địa tĩnh, do Cơ quan Hàng không và vũ trụ Mỹ (NASA) phát triển, có khả năng theo dõi các biến thể CLKK ở quy mô ngoại ô, đã đánh dấu bước tiến quan trọng trong công tác theo dõi ÔNKK quy mô lớn. Thiết bị này cho phép thu thập dữ liệu của một số chất gây ô nhiễm như nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃), sulfur dioxide (SO₂) và formaldehyde (CH₂O) với độ phân giải cao, tần suất theo giờ. Nhờ đó, các nhà khoa học có thể giám sát liên tục sự thay đổi của CLKK và truy



vết nguồn phát thải tại khu vực đô thị dọc từ Canada đến Mêxicô. TEMPO là minh chứng rõ nét cho thấy AI và Big Data đang được ứng dụng ngày càng sâu rộng trong nỗ lực kiểm soát ÔNKK.

Ngoài ra, nhiều đô thị lớn tại Mỹ như New York, Los Angeles, Chicago... cũng đang triển khai hệ thống cảm biến di động gắn trên xe buýt, thiết bị bay không người lái (drone) và xe đạp công cộng để tăng cường khả năng giám sát không khí ở cấp độ vi mô. Theo Phòng thí nghiệm Senseable City Lab thuộc Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), các cảm biến này có thể phát hiện ra điểm ô nhiễm khu trú quy mô nhỏ hơn 100 m - những khu vực thường bị bỏ sót bởi hệ thống giám sát cố định truyền thống. Đặc biệt, độ phủ dữ liệu không khí tại khu vực nội đô đã tăng từ dưới 40% lên hơn 85% [1]. Mặt khác, từ năm 2021, AI được sử dụng trong hệ thống lưới điện thông minh, giúp tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng, giảm từ 15 - 20% lượng khí thải CO₂ gây ÔNKK tại các bang của Mỹ.

1.2. Trung Quốc: Theo dõi, kiểm soát ÔNKK thông qua AI và Big Data

Trung Quốc đang tập trung đầu tư cho việc ứng dụng AI và Big Data để quản lý ÔNMT, thông qua triển khai Hệ thống "Skynet" gồm hơn 20 triệu camera giám sát, kết hợp với dữ liệu từ các cảm biến môi trường để theo dõi, kiểm soát ÔNKK và nước. Đồng thời, quốc gia này cũng triển khai AI mạnh mẽ trong chương trình quan trắc, với bước tiến đáng chú ý là tự động hóa các trạm quan trắc môi trường, kết hợp giữa AI, thiết bị drone và phòng thí nghiệm tự động [1]. Trong lĩnh vực giám sát CLKK và nước, việc nâng cấp, số hóa các trạm quan trắc quốc gia sẽ giúp tự động hóa quá trình giám sát mà không cần nhân sự vận hành, qua đó giảm hơn 70% tần suất bảo trì, thời gian xử lý. Công tác lấy mẫu, phân tích cũng được thực hiện dễ dàng hơn với công nghệ lấy mẫu bằng drone và phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm tự động, giúp tiết kiệm hơn 50% thời gian, nhân lực, chi phí vận chuyển [2]. Ngoài ra, Trung Quốc cũng sử dụng AI để dự đoán hiện tượng sương mù dày đặc, từ đó có biện pháp cảnh báo sớm cho người dân.

Hiện nhiều thành phố lớn của Trung Quốc như Bắc Kinh, Thượng Hải, Thâm Quyển, Quảng Châu đã triển khai mô hình đô thị thông minh, ứng dụng AI, internet vạn vật (IoT), Big Data và cảm biến môi trường để giám sát CLKK, kiểm soát ô nhiễm, dự báo tiêu thụ điện năng và quản lý chất thải, nước thải. Công nghệ số còn hỗ trợ tối ưu điều tiết giao thông, chiếu sáng công cộng, cảnh báo sớm về môi trường và nâng cao hiệu quả quản trị đô thị. Một nghiên cứu năm 2022 của Đại học Thanh Hoa cho thấy, ứng dụng AI giúp giảm 12% mức độ ÔNKK tại Bắc Kinh trong

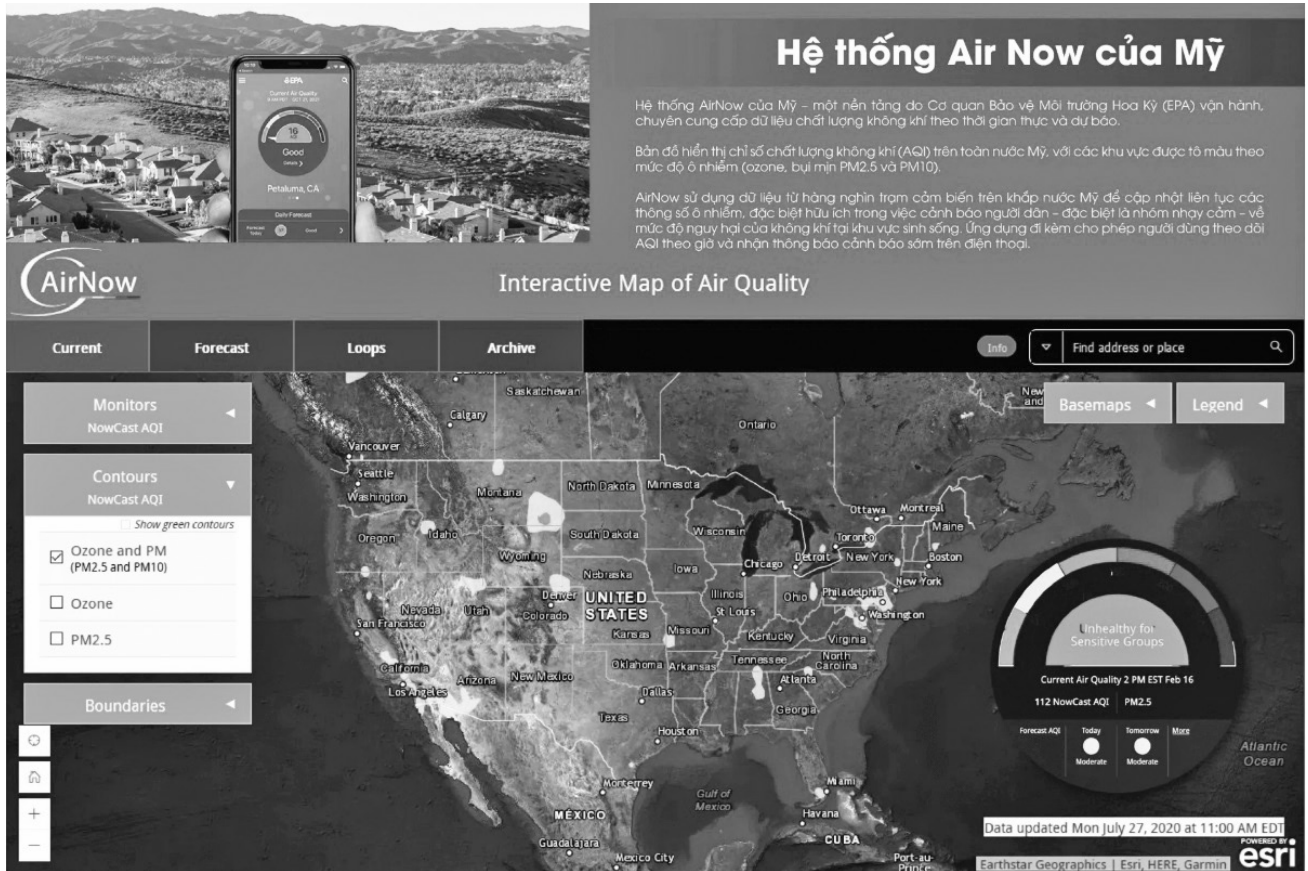
mùa đông. Trung Quốc cũng đang đẩy mạnh phát triển thương mại điện tử xanh, tài chính số cho dự án xanh, ứng dụng blockchain trong truy xuất nguồn gốc và minh bạch chuỗi cung ứng nông nghiệp. Các mô hình "tín dụng các-bon số", "ngân hàng các-bon số" được thử nghiệm ở nhiều địa phương, giúp doanh nghiệp và người dân tham gia thị trường các-bon minh bạch, hiệu quả hơn. Đặc biệt, Trung Quốc tiên phong tích hợp giải pháp số vào sản xuất xanh, nông nghiệp thông minh và năng lượng tái tạo. Nhiều nhà máy thông minh ứng dụng AI, robot, IoT giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất, giảm lãng phí tài nguyên và lượng khí thải gây ÔNKK. Trong nông nghiệp, hệ thống tưới tiêu tự động, cảm biến môi trường, truy xuất sản phẩm góp phần tiết kiệm tài nguyên, hạn chế phát thải, nâng cao chất lượng sản phẩm, hướng đến mục tiêu PTBV [3].

Không chỉ thế, Trung Quốc còn được biết đến là quốc gia đi đầu về giám sát đa dạng sinh học, tiếng ồn môi trường bằng thiết bị cảm biến thông minh, qua đó có thể phát hiện sớm các bất thường sinh thái và nâng cao độ chính xác trong giám sát. Những thiết bị thông minh như camera hồng ngoại, máy ghi âm tiếng chim, radar giám sát động vật lưỡng cư - bò sát, thiết bị giám sát bướm... đã giúp tự động hóa quá trình giám sát, đạt độ chính xác trên 85%. Tới đây, Bộ Sinh thái và Môi trường Trung Quốc tiếp tục đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số để quản lý các điểm xả thải theo mô hình "mỗi điểm một mã", nhằm đảm bảo dữ liệu có thể được kết nối, truy xuất, giám sát chặt chẽ. Một số công nghệ như viễn thám vệ tinh, giám sát tự động cũng sẽ được áp dụng để phát hiện, xử lý kịp thời hành vi xả thải trái phép gây ÔNMT [2]. Những thành tựu này cho thấy vai trò trung tâm của công nghệ số trong phát triển kinh tế xanh, góp phần kiểm soát ô nhiễm, giảm phát thải và nâng cao chất lượng sống, đồng thời củng cố năng lực hội nhập quốc tế của Trung Quốc.

1.3. Singapo: Công nghệ là nền tảng cho chiến lược môi trường và đô thị thông minh

Là quốc gia nhỏ có mật độ dân số và hoạt động thương mại cao, Singapo phải chịu áp lực lớn trong kiểm soát ÔNKK, vì vậy, từ rất sớm, Chính phủ Singapo đã nhận thức sâu sắc về vai trò then chốt của công nghệ số và AI đối với tương lai phát triển đất nước; xác định đây là nền tảng quan trọng để phát triển đô thị xanh, giúp thành phố thích ứng hiệu quả với mọi thách thức về môi trường, hướng tới mục tiêu PTBV.

Ngay từ những năm 2010, Singapo đã bắt đầu triển khai tầm nhìn xa về một "quốc gia thông minh", tích hợp Big Data, AI, IoT vào mọi lĩnh vực kinh tế - xã hội để nâng cao chất lượng cuộc sống người dân. Một trong những sáng kiến tiêu biểu là Dự án MAREMIS, hợp tác với cảng Hamburg (Đức), sử dụng AI để theo dõi, điều



Hệ thống AirNow của Mỹ thu thập dữ liệu từ hơn 4.000 trạm quan trắc trên toàn quốc, kết hợp thuật toán AI để phân tích, cung cấp thông tin CLKK theo thời gian thực

tiết khí thải từ tàu biển. Hệ thống phân tích dữ liệu vận tải, tốc độ gió, độ ẩm để dự đoán mức phát tán NO_x, SO_x, từ đó hỗ trợ ra quyết định chính xác. Theo Cơ quan Môi trường quốc gia Singapo (NEA), MAREMIS đã giúp giảm trung bình 18% lượng phát thải NO_x tại khu vực cảng sau 3 năm triển khai [1]. Bên cạnh đó, Dự án “OneMap”, “Smart Water” và các hệ thống cảm biến môi trường giúp giám sát, dự báo CLKK, nước; tối ưu vận hành cấp - thoát nước, góp phần tiết kiệm tài nguyên, phòng ngừa ngập úng. Hệ thống chiếu sáng, giao thông công cộng được tự động hóa, giảm tiêu thụ năng lượng, phát thải khí nhà kính và thúc đẩy giao thông xanh. Các khu dân cư thông minh còn kết nối dữ liệu giữa điện, nước, giao thông, y tế nhằm tối ưu vận hành và kiểm soát phát thải tại nguồn.

Singapo cũng là quốc gia nổi bật với các giải pháp quản lý thông minh toàn diện cho hạ tầng, dịch vụ công cộng, như kiểm soát không khí, nước, chiếu sáng, chất thải và giao thông thân thiện với môi trường. Mô hình “Virtual Singapo” - Thành phố ảo 3D là một sáng tạo mang tính cách mạng. Hệ thống này tích hợp hàng loạt nguồn dữ liệu từ cảm biến môi trường, hệ thống giao thông, camera an ninh và bản đồ thời tiết. Nhờ vậy, các nhà quản lý có thể mô phỏng chính sách, thử nghiệm giải pháp và dự đoán hiệu quả trước khi triển khai

vào thực tế. Theo NEA, việc sử dụng Virtual Singapo trong mô phỏng điều chỉnh giao thông nội đô đã giúp giảm hơn 10% lượng khí thải CO₂ từ phương tiện cá nhân chỉ sau 2 năm thử nghiệm tại quận Tengah. GS. Michael Batty, Đại học College London nhận xét, “Virtual Singapo là một ví dụ điển hình về thành phố của tương lai, nơi mọi quyết định về quy hoạch môi trường, hạ tầng đều dựa trên dữ liệu thời gian thực và mô hình hóa dự báo tiên tiến” [1].

2. ĐỀ XUẤT MỘT SỐ GIẢI PHÁP CHO VIỆT NAM

2.1. Bước tiến trong ứng dụng AI và Big Data vào giám sát, dự báo ÔNKK tại Việt Nam

Fi-Mi: Hệ thống di động quan trắc, dự đoán CLKK ứng dụng AI

Tại Việt Nam, những năm gần đây, việc ứng dụng AI, Big Data trong lĩnh vực môi trường, giảm thiểu ô nhiễm đã có bước tiến đáng kể. Cụ thể, nhằm tăng độ chính xác của các thiết bị quan trắc giá rẻ và giảm thiểu số lượng thiết bị sử dụng, nhóm nghiên cứu người Việt đến từ Đại học Bách khoa Hà Nội, Đại học Chiba (Nhật Bản) và Tập đoàn Toshiba đã phối hợp thực hiện thành công Đề tài “Fi-Mi: Hệ thống di động quan trắc, dự đoán CLKK ứng dụng AI” dưới sự tài trợ của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VinIF). Với hệ thống Fi-Mi, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được hệ thống



theo dõi các thông số ÔNKK và nguồn phát thải ảnh hưởng đến sức khỏe con người, góp phần giải quyết hai bài toán chính: (i) Tự động hiệu chỉnh dữ liệu thu thập bởi thiết bị quan trắc giá rẻ, nhằm tăng độ chính xác; (ii) Dự đoán dữ liệu quan trắc theo không gian và thời gian, nhằm xây dựng một bản đồ CLKK với độ mịn cao, trong khi không cần triển khai quá nhiều thiết bị [4].

Hệ thống Fi-Mi gồm ba tầng (cảm biến, thông tin, ứng dụng), trong đó, tầng cảm biến bao gồm các thiết bị quan trắc không khí, được đặt trên phương tiện giao thông (xe buýt), liên tục thu thập chỉ số CLKK và gửi về hệ thống máy chủ. Tầng thông tin bao gồm các giao thức truyền tin, đảm nhận việc truyền, nhận dữ liệu giữa tầng cảm biến và tầng ứng dụng. Tầng ứng dụng bao gồm hệ thống máy chủ, có nhiệm vụ xử lý, lưu trữ, hiển thị dữ liệu trực quan hóa cho người dùng; sử dụng các mô hình học máy nhằm dự đoán CLKK theo không gian và thời gian. Với cấu trúc nhỏ gọn, giá thành rẻ, các thiết bị quan trắc Fi-Mi phù hợp lắp đặt trên xe buýt, ô tô di chuyển quanh thành phố, giúp thu thập chỉ số nhiệt độ, độ ẩm, $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO. Thiết bị có khả năng giao tiếp với hai loại chuẩn truyền thông không dây là mạng không dây (wifi) và LTE (Long Term Evolution - Tiến hóa dài hạn) để liên tục cập nhật dữ liệu về hệ thống máy chủ theo thời gian thực. Bên cạnh thông tin về quan trắc không khí, thời tiết, các thiết bị cũng gửi về máy chủ thông tin độ mạnh/yếu của tín hiệu (RSSI) và vị trí thiết bị thu thập được qua mô-đun GPS. Toàn bộ hoạt động của mỗi thiết bị quan trắc Fi-Mi được điều khiển bởi bộ điều khiển trung tâm MCU do nhóm nghiên cứu tại Đại học Bách khoa Hà Nội lập trình [5].

Không chỉ dừng lại ở bài toán dự đoán CLKK theo thời gian, một trong những ứng dụng nổi bật của Fi-Mi là nghiên cứu phương pháp nhằm ước lượng phân bố của CLKK, tức là sử dụng dữ liệu CLKK thu được từ các vị trí của thiết bị quan trắc để ước lượng CLKK tại những nơi không có thiết bị quan trắc. Mặt khác, Dự án Fi-Mi xây dựng mô hình học sâu, sử dụng mạng nơ-ron đồ thị để biểu diễn mối quan hệ về mặt không gian giữa các trạm quan trắc. Đây cũng là dự án đầu tiên sử dụng học sâu trong dự đoán chỉ số $PM_{2.5}$, thực hiện trên bộ dữ liệu của Việt Nam. Kết quả đánh giá trên bộ dữ liệu CLKK thu thập tại Hà Nội cho thấy, mô hình Encoder - Decoder làm giảm sai số dự đoán 53,7% so với giải pháp của một số nghiên cứu khác. Hơn nữa, việc sử dụng thuật toán tự động lựa chọn đặc trưng đầu vào có thể giúp giảm sai số dự đoán thêm 13,7% so với các thuật toán khác. Ngoài ra, sự kết hợp thông tin về khí tượng, nhất là gió, nhằm tăng độ chính xác cho việc dự đoán cũng là điểm mạnh của Fi-Mi. Kết quả từ

một số nghiên cứu thí nghiệm cho thấy, giải pháp của Fi-Mi đã giúp giảm sai số dự đoán từ 4,93% - 34,88% so với các phương pháp hiện tại [6].

Sau khi Dự án kết thúc và được nghiệm thu vào năm 2023, nhóm nhà khoa học tại Đại học Bách khoa Hà Nội cùng với các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực AI và môi trường vẫn tiếp tục theo đuổi nghiên cứu liên quan, hướng đến xây dựng một hệ thống hoàn chỉnh, không chỉ giúp theo dõi thông số ÔNKK mà cả nguồn phát thải cũng như ảnh hưởng của ÔNKK đến sức khỏe con người.

Ứng dụng Big Data trong viễn thám để giám sát và giảm thiểu ÔNKK từ các khu xử lý rác thải

Từ tháng 7/2020 - 12/2022, các nhà khoa học của Cục Viễn thám quốc gia, Bộ TN&MT (nay là Bộ NN&M) đã triển khai Đề tài “Nghiên cứu ứng dụng Big Data - Viễn thám trong giám sát ÔNKK từ các khu xử lý rác thải (XLRT)” thông qua việc sử dụng dữ liệu từ vệ tinh Sentinel-5P và quan trắc mặt đất để xây dựng bản đồ CLKK; xác định sự phát tán của một số chất gây ô nhiễm như SO_2 , NO_2 , CH_4 . Kết quả, nhóm nghiên cứu đã xây dựng được cơ sở khoa học và phương pháp luận cho ứng dụng Big Data - Viễn thám vào giám sát ÔNKK từ các khu XLRT; ứng dụng kết hợp dữ liệu viễn thám chuyên dụng Sentinel-5P, dữ liệu bay UAV chuyên dụng và dữ liệu quan trắc mặt đất để giám sát thường xuyên theo diện với độ chi tiết cao về CLKK quanh khu vực XLRT. Đồng thời, xây dựng được quy trình công nghệ ứng dụng Big Data - Viễn thám giám sát tình trạng ÔNKK từ các khu XLRT; đề xuất các bước, từ xử lý dữ liệu viễn thám, tích hợp dữ liệu viễn thám và quan trắc, mô hình hóa lan truyền CLKK; xác định được sự phát tán một số thành phần hóa chất độc hại gây ÔNKK từ khu vực XLRT tập trung như SO_2 , NO_2 , CH_4 . Ngoài ra, nhóm nghiên cứu đã thu thập, xử lý dữ liệu viễn thám Sentinel-2; Sentinel-5P, Landsat-8/9; dữ liệu thu từ UAV; dữ liệu quan trắc để tính toán một số thành phần CLKK như bụi $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO, SO_2 , NO_2 , CH_4 ; thu thập dữ liệu ô-zôn để làm cơ sở xây dựng bản đồ AQI24h.

Sau khi công bố, kết quả nghiên cứu được chuyển giao đến các cơ quan có nhiệm vụ quan trắc, giám sát CLKK nói chung, tình trạng ô nhiễm do hoạt động của các bãi rác tập trung nói riêng bằng phương thức chuyển giao trực tiếp kèm theo đào tạo và tài liệu hướng dẫn sử dụng.

Hệ thống giám sát, dự báo, cảnh báo CLKK trên cơ sở thu thập, tích hợp dữ liệu đa nguồn

Nhằm xây dựng hệ thống giám sát, dự báo, cảnh báo CLKK theo thời gian thực ứng dụng công nghệ IoT, điện toán đám mây (Cloud), AI và mô hình số trị,



PGS.TS. Phạm Trần Vũ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh và cộng sự đã thực hiện thành công Đề tài “Xây dựng hệ thống giám sát, dự báo, cảnh báo CLKK trên cơ sở thu thập, tích hợp dữ liệu đa nguồn, thí điểm cho một đô thị lớn”, thuộc Chương trình trọng điểm cấp quốc gia giai đoạn đến năm 2025 “Hỗ trợ nghiên cứu, phát triển và ứng dụng công nghệ của công nghiệp 4.0”, mã số KC-4.0/19-25.

Thực hiện Đề tài, nhóm nghiên cứu đã tích hợp AI bằng mô hình 3 lớp tiên tiến nhất và học máy để dự báo ÔNKK ngắn hạn cho TP. Hồ Chí Minh trong 24 giờ, giúp cảnh báo sớm ÔNKK để bảo vệ sức khỏe người dân cũng như giảm thiệt hại kinh tế. Cụ thể, nhóm nghiên cứu đã tìm hiểu hệ thống giám sát, dự báo, cảnh báo CLKK theo thời gian thực trên thế giới và Việt Nam, từ đó xây dựng các cụm cảm biến giao tiếp không dây; mô hình ước tính CLKK từ ảnh vệ tinh và dữ liệu phụ trợ cho khu vực TP. Hồ Chí Minh; mô hình dự báo CLKK sử dụng AI; mạng lưới giám sát, hệ mô hình mô phỏng phục vụ dự báo, cảnh báo CLKK trên nền tảng ứng dụng di động và website. Kết quả, đã xây dựng được mô hình trạm quan trắc môi trường không khí theo thời gian thực được kết nối theo chuẩn IoT: SO_2 , CO , NO_2 , NO , O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$; hệ thống giám sát, dự báo CLKK để ứng dụng thí điểm tại TP. Hồ Chí Minh. Đồng thời, nhóm nghiên cứu đã hoàn thành thiết kế nốt cảm biến, phục vụ hoạt động thu thập dữ liệu để thử nghiệm, đánh giá; thử nghiệm mô hình AI và mô hình CMAQ để dự báo, cảnh báo CLKK; hoàn thành mô hình ước lượng nồng độ bụi $PM_{2.5}$ từ ảnh viễn thám.

Ưu điểm của hệ thống là khi cài đặt ứng dụng hoặc truy cập website, người dân có thể biết CLKK tại thời điểm hiện tại ở một khu vực, đồng thời, được dự báo CLKK trong thời gian 1 - 2 ngày tới để kịp thời có kế hoạch bảo vệ sức khỏe trước tác động của ÔNKK. Đặc biệt, ứng dụng sẽ gửi tin nhắn trực tiếp đến người dùng khi ÔNKK có dấu hiệu tăng cao, từ đó đưa ra khuyến nghị thích hợp tùy theo mức độ ô nhiễm.

2.2. Thách thức, rào cản và đề xuất giải pháp

Thách thức, rào cản

Mặc dù đã có được thành công bước đầu nhưng Việt Nam hiện vẫn đối mặt với nhiều rào cản trong ứng dụng AI và Big Data vào dự báo, cảnh báo ÔNMT nói chung, ÔNKK nói riêng, cụ thể: (i) Thiếu nền tảng dữ liệu đồng bộ và chất lượng cao: Các dữ liệu môi trường ở Việt Nam còn phân tán, thiếu chuẩn hóa, khó tích hợp và chưa sẵn sàng cho phân tích bằng AI. Nhiều địa phương vẫn thu thập dữ liệu thủ công, thiếu thiết bị cảm biến, chưa có cơ chế chia sẻ hiệu quả giữa các cấp, ngành; (ii) Năng lực phân tích, triển khai còn hạn chế: Số lượng chuyên gia AI và khoa học

dữ liệu tại Việt Nam vẫn còn thấp; các mô hình AI hiện tại chỉ dừng ở mức thử nghiệm nhỏ, chưa có hệ sinh thái đủ mạnh để ứng dụng trên diện rộng. Khả năng ứng dụng AI để ra quyết định công còn hạn chế, do thiếu sự phối hợp giữa kỹ thuật và quản lý; (iii) Cơ chế, chính sách chưa thực sự tạo được sự khuyến khích: Việc đầu tư cho AI và Big Data trong lĩnh vực môi trường chưa được xem là ưu tiên quốc gia. Việt Nam chưa có cơ chế rõ ràng về pháp lý cho việc sử dụng dữ liệu, bảo vệ quyền riêng tư, an toàn thông tin cũng như phân bổ ngân sách hiệu quả cho công nghệ số trong ngành tài nguyên - môi trường; (iv) Thiếu hợp tác công - tư (PPP): Sự tham gia của doanh nghiệp, startup và các viện nghiên cứu trong lĩnh vực này vẫn còn rời rạc, chưa có cơ chế khuyến khích đủ mạnh để thúc đẩy hợp tác công - tư. Các dự án công nghệ thường bị giới hạn bởi ngân sách hoặc không có hành lang thử nghiệm phù hợp; (v) Thiếu kết nối với xu thế quốc tế: Việt Nam chưa tham gia sâu vào các sáng kiến toàn cầu về công nghệ môi trường như mạng lưới dữ liệu khí quyển toàn cầu, nền tảng AI cho môi trường của Chương trình môi trường Liên hợp quốc, hay các dự án mở về dữ liệu Trái đất... Điều này khiến chúng ta mất cơ hội tiếp cận công nghệ tiên tiến và dữ liệu quy mô lớn.

Định hướng giải pháp trong thời gian tới

Thứ nhất, Việt Nam cần thiết lập một hệ thống dữ liệu môi trường quốc gia toàn diện, kết nối dữ liệu từ các trạm quan trắc, cảm biến IoT, hình ảnh vệ tinh và báo cáo từ địa phương. Dữ liệu phải được chuẩn hóa, mở rộng khả năng chia sẻ và sử dụng bởi các cơ quan nhà nước, viện nghiên cứu, doanh nghiệp. Việc này đòi hỏi Chính phủ đóng vai trò trung tâm trong thiết kế khung pháp lý và hạ tầng kỹ thuật.

Thứ hai, nên khuyến khích phát triển các mô hình thử nghiệm AI trong lĩnh vực giám sát ÔNKK tại đô thị lớn theo hình thức PPP để tận dụng thế mạnh từ khu vực tư nhân. Đồng thời, AI và Big Data cần được tích hợp vào các công cụ hỗ trợ ra quyết định trong xây dựng chính sách dự báo ô nhiễm để quy hoạch đô thị, phân tích tác động môi trường (EIA)... Mặt khác, sớm đưa những nội dung liên quan đến ứng dụng AI, Big Data trong giám sát, dự báo ÔNKK vào chương trình đào tạo đại học, cao học, bồi dưỡng chuyên môn để tăng cường số lượng cũng như nâng cao năng lực đội ngũ chuyên gia đủ mạnh về khoa học dữ liệu, AI và quản lý môi trường.

Thứ ba, có thể tham gia vào các chương trình quốc tế liên quan đến xây dựng, thực hiện chính sách môi trường, đặc biệt là giảm thiểu ÔNKK, tiêu biểu như Copernicus - Chương trình quan sát Trái đất của Liên minh châu Âu, chuyên cung cấp dữ liệu vệ tinh miễn



phí về môi trường, qua đó hỗ trợ các quốc gia thành viên trong giám sát, quản lý tài nguyên thiên nhiên; các sáng kiến từ Chương trình môi trường Liên hợp quốc, Ngân hàng Thế giới về công nghệ môi trường... nhằm học hỏi kinh nghiệm, tiếp cận dữ liệu toàn cầu, công nghệ nguồn mở và sự hỗ trợ về tài chính, kỹ thuật để triển khai một số dự án thí điểm có tính lan tỏa cao.

Thứ tư, cần sớm hoàn thiện Kế hoạch hành động quốc gia khắc phục ô nhiễm và quản lý CLKK, với mục tiêu cụ thể cho năm 2025 và giai đoạn 2026 - 2030, trong đó tập trung vào các nhóm giải pháp chính như năng lượng, nguồn thải, giao thông, xây dựng; tăng cường ứng dụng AI, Big Data để phân tích, dự báo CLKK; tích hợp hệ thống quan trắc tự động, cơ sở dữ liệu quốc gia, giúp địa phương kiểm kê khí thải định kỳ và công khai thông tin minh bạch.

Thứ năm, AI, Big Data mang lại sức mạnh chuyển hóa trong nỗ lực giải quyết vấn đề ÔNKK đô thị, công cụ này giúp nâng cao năng lực đo lường, dự báo, tối ưu hóa và hành động, qua đó hỗ trợ xây dựng thành phố thông minh, sạch, công bằng và đáng sống hơn. Để công nghệ số thực sự là lực lượng vì lợi ích chung, cần đảm bảo 3 tiêu chí: (i) Tính bao trùm, trong đó, mọi người dân đều có thể tiếp cận lợi ích, không chỉ những người sở hữu smartphone hoặc thiết bị đeo; (ii) Tính công bằng (Hệ thống phải được thiết kế để không chuyển ô nhiễm sang các cộng đồng vốn đã chịu gánh nặng môi trường); (iii) Tính minh bạch và đạo đức (Niềm tin cộng đồng đòi hỏi quản trị rõ ràng, quyền truy cập mở và sự tham gia thực chất của người dân). Do vậy, AI, Big Data không nên là thứ được “áp đặt lên con người”, mà phải là công cụ được xây dựng “cùng với con người”. Điều đó đồng nghĩa với việc mở quyền truy cập dữ liệu, khuyến khích phát triển mã nguồn mở và đưa tiếng nói địa phương vào quá trình thiết kế, triển khai công cụ. Đồng thời, AI, Big Data phải là công cụ then chốt nếu chúng ta muốn đạt mục tiêu toàn cầu - như Tổ chức Y tế thế giới công bố tại Hội nghị toàn cầu về ÔNKK và sức khỏe là giảm 50% tác động sức khỏe từ ÔNKK vào năm 2040. Để hiện thực hóa mục tiêu nêu trên, Việt Nam không thể chỉ dựa vào thuật toán, mà cần sự phối hợp có chủ đích giữa Chính phủ, nhà nghiên cứu, công ty khởi nghiệp, nhà hoạch định đô thị và cả cộng đồng.

Kết luận: AI và Big Data đang được ứng dụng ngày càng sâu rộng trong nỗ lực kiểm soát ÔNKK. Những kinh nghiệm thực tiễn từ Mỹ, Trung Quốc, Singapo cho thấy, công nghệ không còn chỉ là công cụ kỹ thuật mà đã trở thành nền tảng vững chắc trong việc hoạch định chính sách về môi trường và y tế. Cũng như nhiều quốc gia trên thế giới, với sự phát triển mạnh mẽ của AI và Big Data, công tác giám sát, dự báo ÔNKK ở Việt Nam

đang trở nên chính xác, nhanh chóng, hiệu quả hơn, giúp giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường cũng như sức khỏe con người, hướng đến mục tiêu PTBV■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Tùng Lâm, Long Hải, 2025. Ứng dụng AI và dữ liệu lớn trong giám sát và dự báo ÔNKK. Try cập tại <https://kinhtedothi.vn/ung-dung-ai-va-du-lieu-lon-trong-giam-sat-va-du-bao-o-nhiem-khong-khi.671326.html>.*
2. *Bộ Sinh thái và Môi trường Trung Quốc, 2025. Thông tin từ Cục trưởng Cục Giám sát thuộc Bộ Sinh thái và Môi trường Trung Quốc Tưởng Hòa Hoa tại buổi họp báo thường kỳ tháng 3, diễn ra ngày 26/3/2025.*
3. *Wang, C., Liu, T., Du, D., Zhu, Y., Zheng, Z., & Li, H. (2024). Impact of the Digital Economy on the Green Economy: Evidence from China, Sustainability, 16 (21), 9217.*
4. *PGS.TS. Nguyễn Phi Lê, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2025. Ứng dụng AI trong quan trắc và dự báo ô nhiễm không khí tại Việt Nam. Trung cập tại [https://blog.vinbigdata.org/ung-dung-ai-trong-quan-trac-va-du-bao-o-nhiem-khong-khi-tai-viet-nam/#:~:text=C%C3%A2u%20h%E1%BB%8F%20n%C3%A0y%20l%C3%A0%20%C4%91%E1%BB%99ng,s%C3%A1ng%20t%E1%BA%A1o%20Vingroup%20\(VinIF\)](https://blog.vinbigdata.org/ung-dung-ai-trong-quan-trac-va-du-bao-o-nhiem-khong-khi-tai-viet-nam/#:~:text=C%C3%A2u%20h%E1%BB%8F%20n%C3%A0y%20l%C3%A0%20%C4%91%E1%BB%99ng,s%C3%A1ng%20t%E1%BA%A1o%20Vingroup%20(VinIF)).*
5. *Viet An Nguyen, Viet Hung, Van Sang Doan, Thanh Hung Nguyen, Phan Thuan Do, Kien Nguyen, Phi Le Nguyen, Minh Thuy Le, “Realizing Mobile Air Quality Monitoring System: Architectural Concept and Device Prototype”, Asia Pacific Conference on Communications (APCC 2021).*
6. *Nguyen Minh Hieu, Phi Le Nguyen, Kien Nguyen, Thanh-Hung Nguyen, and Yusheng Ji. “PM2. 5 prediction using genetic algorithm-based feature selection and encoder-decoder model.” IEEE Access 9 (2021): 57338 - 57350.*
7. *Mo, X.; Zhang, L.; Li, H.; Qu, Z. Một hệ thống cảnh báo sớm CLKK mới dựa trên AI. Int. J. Environ. Res. Sức khỏe cộng đồng 2019, 16, 3505.*
8. *Masood, A.; Ahmad, K. Đánh giá về các kỹ thuật AI mới nổi để dự báo ÔNKK: Cơ bản, ứng dụng và hiệu suất. J. Clean. Prod. 2021, 322, 129072.*
9. *Heuvelmans, MA; van Ooijen, PM; Ather, S.; Silva, CF; Han, D.; Heussel, CP; Hickes, W.; Kauczor, H.-U.; Novotny, P.; Peschl, H. Dự đoán ung thư phổi bằng Học sâu để xác định các nốt phổi lành tính. Ung thư phổi 2021, 154, 1 - 4.*
10. *Polezer, G.; Tadano, YS; Siqueira, HV; Godoi, AF; Yamamoto, CI; de André, PA; Pauliquevis, T.; de Fatima Andrade, M.; Oliveira, A.; Saldiva, PH Đánh giá tác động của PM 2.5 đối với bệnh hô hấp bằng mạng lưới thần kinh nhân tạo. Môi trường. Ô nhiễm. 2018, 235, 394 - 403.*