



CHUYỂN ĐỔI SỐ VÀ THỰC TIỄN ỨNG DỤNG TRONG HOẠT ĐỘNG GIÁM SÁT MÔI TRƯỜNG

DƯƠNG THÀNH NAM¹, TRẦN SON TÙNG¹
ĐỖ TUẤN ANH¹, NGUYỄN CHÍ THÀNH²
NGUYỄN VĂN HUY³, TRẦN THỊ HOA³

¹ Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển công nghệ cao,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

² Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ
quản sự

³ Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường,
Liên hiệp Các hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam

Tóm tắt:

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, chuyển đổi số đã và đang tác động sâu rộng đến mọi lĩnh vực, bao gồm cả hoạt động đo lường, quan trắc và giám sát môi trường. Bài viết đề cập đến vấn đề chuyển đổi số trong giám sát môi trường và thực tiễn ứng dụng trong lĩnh vực giám sát môi trường, tập trung vào các công nghệ như Internet vạn vật (IoT), Trí tuệ nhân tạo (AI) và Blockchain. Mục tiêu chính là cải thiện độ chính xác, minh bạch và toàn vẹn của dữ liệu môi trường, đồng thời tối ưu hóa quy trình thu thập và xử lý dữ liệu. Phương pháp nghiên cứu sử dụng là phân tích các mô hình chuyển đổi số đã được thử nghiệm tại một số quốc gia. Kết quả chỉ ra rằng, ứng dụng công nghệ tiên tiến giúp nâng cao hiệu quả quản lý môi trường, tuy nhiên vẫn đối mặt với những thách thức liên quan đến chi phí và bảo mật dữ liệu.

Từ khóa: Chuyển đổi số, giám sát môi trường, IoT, Blockchain, AI.

Ngày nhận bài: 8/8/2024; Ngày sửa chữa: 2/9/2024;

Ngày duyệt đăng: 22/10/2024.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh của cuộc Cách mạng Công nghiệp 4.0, chuyển đổi số đang tạo ra những tác động sâu rộng đến nhiều lĩnh vực, bao gồm cả đo lường và giám sát môi trường. Chuyển đổi số không chỉ đơn thuần là áp dụng các công nghệ kỹ thuật số vào hoạt động, quy trình và mô hình kinh doanh của tổ chức hoặc doanh nghiệp, mà còn là một cuộc cách mạng thay đổi tư duy, phương pháp quản lý và ra quyết định dựa trên dữ liệu. Đối với lĩnh vực giám sát môi trường, yêu cầu về độ chính xác cao, tính liên tục và minh bạch trong việc thu thập, xử lý và truyền tải dữ liệu là rất quan trọng.

DIGITAL TRANSFORMATION AND PRACTICAL APPLICATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING ACTIVITIES

Abstract:

In the context of the 4.0 industrial revolution, digital transformation has had a profound impact on all fields, including environmental measurement, observation and monitoring activities. The article studies digital transformation in measurement activities, focusing on environmental monitoring with advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Blockchain. These technologies help improve the accuracy, transparency, and integrity of environmental data while optimizing the data collection and processing process. The study analyzes digital transformation models implemented in several countries and concludes that the application of IoT, AI, and Blockchain can bring significant efficiency in environmental management. However, challenges such as high investment costs, stringent security requirements, and a shortage of skilled human resources remain barriers that need to be addressed.

Keywords: Digital transformation, measurement, environmental monitoring, IoT, Blockchain, AI.

JEL Classifications: O44, Q56, Q58.

Trước đây, các quy trình giám sát môi trường phần lớn dựa trên thiết bị đo lường truyền thống và việc ghi nhận dữ liệu thủ công, gây nhiều khó khăn trong việc quản lý, phân tích và ra quyết định kịp thời. Quá trình chuyển đổi số trong giám sát môi trường đã và đang giúp cải thiện hiệu quả, giảm thiểu sai sót, cung cấp dữ liệu chính xác, nhanh chóng cho các cấp quản lý. Đây là bước tiến quan trọng giúp các hệ thống giám sát đạt được tính tự động hóa và khả năng dự đoán cao hơn.

Sự phát triển của các công nghệ tiên tiến như Internet vạn vật (IoT), Trí tuệ nhân tạo (AI) và Blockchain đã

mở ra cơ hội mới cho chuyển đổi số trong giám sát môi trường. Các hệ thống giám sát được số hóa không chỉ nâng cao hiệu quả thu thập dữ liệu mà còn giảm thiểu lỗi do con người, tăng cường khả năng kết nối và xử lý dữ liệu lớn theo thời gian thực.

Nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích công nghệ IoT, AI và Blockchain trong một hệ sinh thái giám sát môi trường toàn diện. Đây là một phương pháp đột phá, khi từng công nghệ đã chứng minh hiệu quả riêng biệt, nhưng sự kết hợp này sẽ tối ưu hóa cả về độ tin cậy, tính bảo mật, và khả năng dự đoán dựa trên dữ liệu môi trường thời gian thực. Cụ thể, AI hỗ trợ phân tích và dự đoán xu hướng, IoT thu thập và truyền dữ liệu liên tục, trong khi Blockchain bảo đảm tính toàn vẹn của dữ liệu, ngăn chặn thay đổi hoặc giả mạo.

Mục tiêu của bài báo là phân tích sự chuyển đổi số trong hoạt động đo lường cụ thể là ứng dụng trong lĩnh vực giám sát môi trường qua một số công nghệ (IoT, AI, Blockchain) để tối ưu hóa quy trình thu thập và xử lý dữ liệu, đề xuất các giải pháp thực tiễn, đồng thời chỉ ra những thách thức và lợi ích của chuyển đổi số trong giám sát môi trường.

2. Chuyển đổi số trong giám sát môi trường

2.1. Áp dụng IoT trong giám sát môi trường

Internet vạn vật (IoT) giúp kết nối các thiết bị đo lường với nhau và với hệ thống xử lý dữ liệu, tạo ra một mạng lưới giám sát thông minh, thu thập và truyền tải dữ liệu môi trường liên tục. Các cảm biến IoT có thể lắp đặt ở nhiều vị trí khác nhau để theo dõi các thông số môi trường như chất lượng không khí, nước, đất, chất thải... Dữ liệu từ các cảm biến này được truyền trực tiếp về trung tâm điều khiển để xử lý và phân tích, cho phép phát hiện nhanh chóng các biến động và bất thường.

IoT để cập đến mạng lưới tập hợp các thiết bị thông minh và công nghệ tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động giao tiếp giữa thiết bị và đám mây cũng như giữa các thiết bị với nhau. IoT đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra một hệ sinh thái kết nối và tương tác giữa các thiết bị xung quanh chúng ta. Nhờ khả năng thu thập và phân tích dữ liệu liên tục, các thiết bị IoT trở nên "thông minh" hơn, cho phép đưa ra các quyết định tức thời mà không cần sự can thiệp của con người. Dữ liệu thu thập từ các cảm biến được xử lý theo thời gian thực giúp phát hiện và cảnh báo nhanh chóng những

thay đổi bất thường trong môi trường. Chẳng hạn như, hệ thống giám sát chất lượng không khí kết hợp theo dõi mức độ ô nhiễm không khí với dịch vụ WiFi công cộng, cho phép người dùng không chỉ sử dụng internet mà còn cập nhật thông tin về chất lượng không khí tại khu vực của họ (Andrés, 2017).

IoT giúp tối ưu hóa giao tiếp giữa các thiết bị và hệ thống. Thông tin được truyền tải không chỉ là dữ liệu thô mà đã qua quá trình xử lý, phân tích để trở thành những thông tin có ý nghĩa và hữu ích hơn đối với con người. IoT cho phép các cảm biến đo lường tự động thu thập và truyền tải dữ liệu liên tục. Nhờ có mạng lưới này, các cảm biến không chỉ hoạt động liên tục mà còn truyền tải dữ liệu về trung tâm xử lý hoặc đám mây để phân tích và đưa ra các quyết định điều hành kịp thời. Theo dự báo năm 2030, khoảng 25 tỷ thiết bị IoT sẽ được kết nối với internet, tạo ra một mạng lưới khổng lồ giúp thu thập, phân tích và ra quyết định tự động dựa trên dữ liệu. Các hệ thống thông minh này giúp quản lý môi trường dễ dàng hơn, nâng cao khả năng lập kế hoạch và phản ứng nhanh chóng trước các thay đổi môi trường (Rivera J., 2014).

Trong các thành phố thông minh, công nghệ được sử dụng để giám sát và cải thiện nhiều khía cạnh đô thị như an toàn xây dựng, quản lý chất thải và chất lượng không khí. Bằng cách thu thập thông tin thời gian thực, các biện pháp can thiệp kịp thời có thể được thực hiện, đặc biệt là ở những khu vực có nguy cơ ô nhiễm không khí cao. Nhờ đó, IoT không chỉ cải thiện quản lý môi trường mà còn nâng cao chất lượng sống của người dân.

2.2. Sử dụng AI để phân tích dữ liệu giám sát môi trường

Trí tuệ nhân tạo (AI) hỗ trợ việc phân tích dữ liệu đo lường phức tạp từ các hệ thống giám sát môi trường, cho phép dự đoán xu hướng và phát hiện các bất thường một cách nhanh chóng và chính xác. AI ứng dụng các thuật toán học máy (Machine Learning) và học sâu (Deep Learning) để phân tích dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến IoT, giúp đưa ra dự báo về sự biến đổi của các yếu tố môi trường như chất lượng không khí, mực nước hoặc mức độ ô nhiễm. AI là lĩnh vực khoa học máy tính chuyên giải quyết các vấn đề nhận thức thường liên quan đến trí tuệ con người, chẳng hạn như học tập, sáng tạo và nhận diện hình ảnh. AI đang

tạo ra những thay đổi lớn trong lĩnh vực giám sát và đo lường, nơi việc xử lý dữ liệu lớn và ra quyết định chính xác rất quan trọng. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ IoT, hàng triệu thiết bị cảm biến được triển khai để giám sát chất lượng không khí, nước và các chỉ số sinh thái khác, dẫn đến việc tích lũy một lượng dữ liệu khổng lồ. AI trở thành công cụ quan trọng giúp phát hiện xu hướng, phân tích mẫu dữ liệu phức tạp và dự đoán chính xác tình trạng môi trường.

AI sử dụng các thuật toán học máy (ML) và học sâu (DL) để xử lý dữ liệu từ các cảm biến IoT, chẳng hạn như cảnh báo nguy cơ ô nhiễm sớm trong quan trắc chất lượng nước. Nghiên cứu của Eil-Shafeily (El-Shafeiy et al., 2023) đã giới thiệu mô hình MCN-LSTM (mạng nơ-ron tích chập đa lớp - Bộ nhớ thời gian ngắn dài) kết hợp giữa CNN (Mạng nơ-ron tích chập) và LSTM (Bộ nhớ thời gian ngắn dài), đạt độ chính xác 92,3% trong phát hiện các bất thường từ dữ liệu thời gian thực, góp phần hỗ trợ quản lý tài nguyên nước hiệu quả.

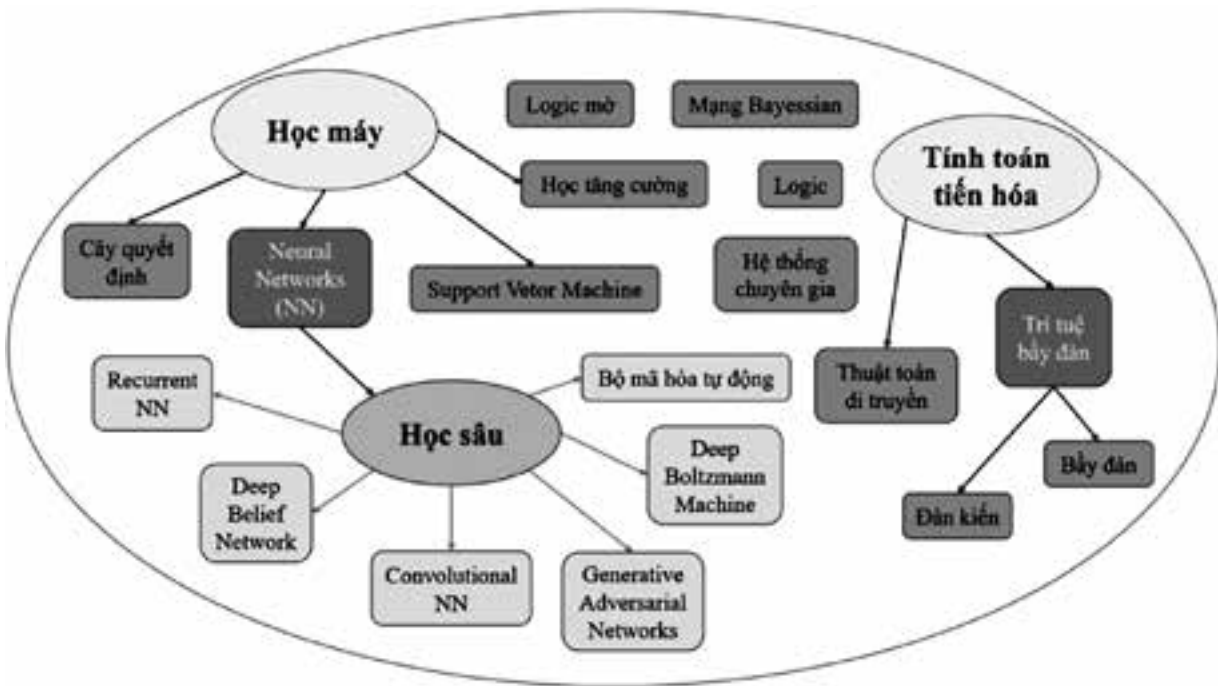
Không chỉ dừng lại ở khả năng phân tích, AI còn dự đoán các biến động phức tạp, như thời gian và địa điểm có nguy cơ ô nhiễm không khí, đặc biệt quan trọng trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Một lợi thế khác của AI là khả năng tối ưu hóa hiệu suất hệ thống đo lường tự động, giúp tiết kiệm băng thông và kéo dài

tuổi thọ thiết bị. Nghiên cứu của Bingbing Fang (Fang et al., 2023) đã phân tích sâu rộng về ứng dụng của AI trong việc tối ưu hóa quy trình quản lý rác thải ở đô thị. AI có thể cải thiện hiệu suất thu gom rác thông qua việc tối ưu hóa tuyến đường, giảm thời gian và chi phí vận chuyển tới 28%.

AI đang cách mạng hóa lĩnh vực giám sát môi trường bằng cách cho phép tự động điều chỉnh và phản hồi dựa trên dữ liệu, giúp phát hiện sớm ô nhiễm không khí và đề xuất các biện pháp kiểm soát mà không cần sự can thiệp của con người. Hệ thống học máy có khả năng tự cải tiến dựa trên dữ liệu mới, hỗ trợ phát hiện kịp thời các dấu hiệu biến đổi môi trường hoặc thiên tai. Với khả năng xử lý khối lượng lớn dữ liệu từ các hệ thống IoT và dự đoán xu hướng tương lai, AI ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ và quản lý tài nguyên thiên nhiên một cách bền vững. Sự kết hợp của AI với các công nghệ quan trắc tiên tiến sẽ là giải pháp hữu hiệu để nhân loại đối phó với các thách thức phức tạp và gia tăng của biến đổi khí hậu.

2.3. Blockchain trong quản lý dữ liệu giám sát môi trường

Blockchain là một công nghệ tiên tiến hỗ trợ quản lý và bảo mật dữ liệu giám sát môi trường với tính minh bạch cao, đảm bảo rằng dữ liệu đo lường được lưu trữ



▲ Hình 1. Phương pháp ứng dụng AI (El-Shafeiy et al., 2023)

an toàn và không thể bị thay đổi sau khi ghi nhận. Tính toàn vẹn và độ tin cậy của dữ liệu là yếu tố cốt lõi trong giám sát môi trường, đặc biệt khi dữ liệu này có thể ảnh hưởng trực tiếp đến các quyết định liên quan đến bảo vệ và cải thiện chất lượng môi trường.

Trong quản lý dữ liệu giám sát môi trường, một trong những thách thức lớn nhất là ngăn chặn mọi sự can thiệp hoặc thay đổi không mong muốn sau khi dữ liệu được thu thập. Blockchain giải quyết vấn đề này thông qua cơ chế đồng thuận và mã hóa mạnh mẽ, đảm bảo rằng mỗi dữ liệu mới chỉ được thêm vào sau khi đã được xác nhận bởi nhiều bên tham gia, từ đó giảm thiểu rủi ro về gian lận và đảm bảo dữ liệu không bị thao túng. Điều này giúp bảo vệ thông tin liên quan đến chất lượng không khí, nước và các chỉ số sinh thái khác, từ đó hỗ trợ quá trình ra quyết định dựa trên dữ liệu minh bạch.

Khả năng ứng dụng của Blockchain trong chuyển đổi số rất rộng, đặc biệt là khi kết hợp với các công nghệ như IoT và AI. Theo nghiên cứu của Dai và cộng sự (2019), Blockchain đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau và có tiềm năng lớn trong quản lý dữ liệu đo lường, giúp tăng tính minh bạch, giảm thiểu gian lận và nâng cao độ tin cậy trong các phép đo pháp định. Quá trình chuyển đổi số trong giám sát môi trường cũng thúc đẩy xu hướng giảm sử dụng giấy, tăng cường số hóa và nâng cao tiêu chuẩn đo lường

quốc tế (SI), đồng thời hỗ trợ mở rộng IoT và tích hợp AI vào phần mềm giám sát (OIML, 2021).

Tại Việt Nam, Blockchain đã bước đầu được ứng dụng trong các hệ thống truy xuất nguồn gốc và quản lý chuỗi cung ứng, nhờ tính minh bạch và tính an toàn của dữ liệu. Tuy nhiên, để phát huy tiềm năng đầy đủ của công nghệ này trong giám sát môi trường, cần có một khuôn khổ pháp lý rõ ràng và đầy đủ. Hiện tại, các ứng dụng Blockchain trong giám sát môi trường vẫn đang trong giai đoạn thử nghiệm và chưa có cơ chế chính sách hỗ trợ cụ thể.

Việc xây dựng một chính sách phù hợp sẽ không chỉ tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của Blockchain mà còn đẩy mạnh quá trình chuyển đổi số trong nền kinh tế. Quản lý các ứng dụng dựa trên Blockchain một cách chặt chẽ và an toàn có thể giúp Việt Nam khai thác toàn bộ tiềm năng của công nghệ này trong giám sát môi trường, tạo ra một hệ thống quản lý dữ liệu minh bạch, bảo mật và hiệu quả, đồng thời hướng tới một tương lai số hóa an toàn và bền vững hơn.

3. Ứng dụng chuyển đổi số trong lĩnh vực giám sát môi trường

3.1. Thực tế triển khai trên thế giới và tại Việt Nam

Chuyển đổi số trong hoạt động đo lường đã được triển khai tại nhiều quốc gia tiên tiến nhằm nâng cao độ chính xác, minh bạch và hiệu quả trong quản lý môi



▲ Hình 2. Hệ thống giám sát môi trường với thông tin liên lạc dựa trên UDP

trường. Bằng cách sử dụng các công nghệ như IoT, AI và Blockchain, các hệ thống giám sát môi trường đã mang lại những kết quả đáng khích lệ trong việc theo dõi các thông số môi trường và cải thiện khả năng ứng phó với các vấn đề môi trường.

Nghiên cứu của Cocioaba và Tudose (Cocioaba & Tudose, 2017) đã mô tả một hệ thống tích hợp hai mạng lưới, Wi-Fi và IEEE 802.15.4, nhằm giám sát dữ liệu từ Mạng cảm biến không dây không đồng nhất. Hệ thống này cho phép các nút cảm biến không chỉ thu thập dữ liệu từ môi trường mà còn có thể truyền tải dữ liệu đó qua internet tới các thiết bị khác, ứng dụng máy chủ hoặc các giải pháp dựa trên nền tảng đám mây. Điều này giúp cho quá trình giám sát môi trường có thể tiếp cận được từ xa, nâng cao hiệu quả giám sát liên tục và đảm bảo dữ liệu luôn được cập nhật và xử lý kịp thời.

Theo Mois, Folea và Sanislav (Mois et al., 2017) đã giới thiệu ba hệ thống cảm biến không dây khác nhau dựa trên IoT để giám sát môi trường và các điều kiện xung quanh. Mỗi hệ thống sử dụng một giao thức truyền thông riêng bao gồm HTTP và Bluetooth Smart. Các hệ thống này đều có khả năng cho phép người dùng theo dõi cảm biến từ xa và trực quan hóa dữ liệu trên bất kỳ thiết bị nào có kết nối internet, cung cấp sự tiện lợi và tính linh hoạt cao trong việc quan trắc và phân tích dữ liệu môi trường.

Tại Singapore, các hệ thống quan trắc chất lượng không khí sử dụng IoT và AI đã được triển khai rộng rãi để cải thiện hoạt động giám sát môi trường. Theo Cơ quan Môi trường Quốc gia (NEA), nhiều cảm biến đã được triển khai trên khắp thành phố để theo dõi các chất gây ô nhiễm. Các cảm biến này đo mức độ của sáu thông số chất gây ô nhiễm không khí cụ thể là SO_2 , NO_2 , O_3 , CO, PM_{10} và $PM_{2.5}$.

Nồng độ của các thông số chất gây ô nhiễm không khí này được sử dụng để tính Chỉ số tiêu chuẩn chất ô nhiễm (PSI) trong khoảng thời gian 24 giờ liên tục. Các chỉ số PSI này được báo cáo hàng giờ trên trang web NEA, trang web về khói mù và ứng dụng myENV. Các chỉ số được chia nhỏ theo phía bắc, đông, nam, tây và trung tâm của Singapore khi đo tại 5 trạm báo cáo quốc gia của NEA đặt tại các khu vực này (National Environment Agency, n.d.).

Kết quả tại Bảng 1 cho thấy rằng, hệ thống quan trắc sử dụng IoT và AI không chỉ cải thiện độ chính xác dự

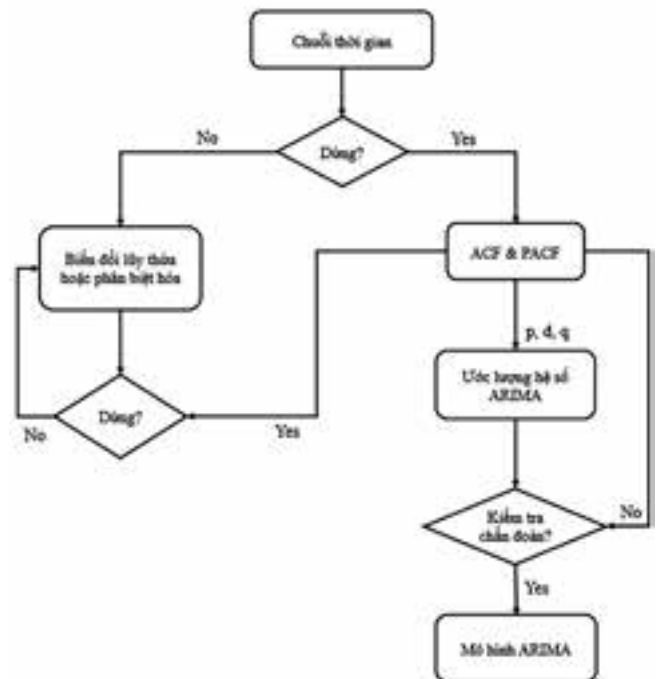
Bảng 1. So sánh hệ thống giám sát chất lượng không khí tại Singapore

Chỉ tiêu	Hệ thống truyền thống	Hệ thống sử dụng IoT và AI
Độ chính xác dự báo chất lượng không khí	80%	95%
Số lượng cảm biến lắp đặt	50	200
Độ trễ truyền tải dữ liệu	15 giây	< 3 giây
Chi phí triển khai (USD)	5 triệu	10 triệu

Nguồn: Bộ Môi trường và Tài nguyên Singapore (2022)

báo mà còn giúp giảm thời gian truyền tải dữ liệu, từ đó giúp chính quyền có thể phản ứng nhanh chóng hơn trong trường hợp khẩn cấp liên quan đến chất lượng không khí. Tuy nhiên, chi phí triển khai ban đầu cao hơn là một thách thức đáng kể.

Tại Ấn Độ, Hệ thống quan trắc ô nhiễm không khí dựa trên IoT sử dụng Raspberry Pi và Arduino đã được đề xuất để khắc phục các hạn chế của trạm mặt đất và vệ tinh, như sai lệch dữ liệu (10-26)% và chi phí cao. Hệ thống sử dụng cảm biến như MQ-7 (CO), MQ-135 (NH_3) và MQ-131 (O_3) để thu thập dữ liệu. Các cảm biến kết nối với bo mạch Arduino để hiệu chuẩn và truyền dữ liệu qua Wi-Fi về Raspberry Pi. Raspberry Pi không chỉ xử lý và lưu trữ dữ liệu mà còn sử dụng thuật



▲ Hình 3. Sơ đồ khối của Mô hình ARIMA

toán học máy bằng Python để phân tích thông tin, từ đó nâng cao khả năng giám sát chất lượng không khí (Kumar & Gupta, 2015).

Về phần mềm và mô hình dự báo, dữ liệu từ các cảm biến được xử lý để đào tạo các mô hình học máy và phân tích chuỗi thời gian, trong đó mô hình ARIMA được ưa chuộng nhất nhờ độ chính xác cao trong việc dự báo nồng độ các chất ô nhiễm trong 4 giờ tiếp theo với khoảng thời gian lấy mẫu 15 phút. Hệ thống cung cấp bảng điều khiển trực tuyến trên Firebase, cho phép người dùng theo dõi chất lượng không khí theo thời gian thực và dữ liệu dự báo cho khu vực Vijayawada, Ấn Độ từ bất kỳ đâu.

Kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình ARIMA vượt trội với chỉ số lỗi trung bình tuyệt đối (MAE) và sai số căn bậc hai trung bình (RMSE) thấp hơn so với các mô hình khác, cho thấy khả năng dự báo chính xác nồng độ CO, NH₃ và O₃. Với tiềm năng mở rộng, hệ thống không chỉ giúp giám sát chất lượng không khí với chi phí thấp mà còn có thể được triển khai rộng rãi để theo dõi ô nhiễm không khí tại nhiều khu vực khác nhau, từ đó cung cấp giải pháp dự báo và cảnh báo sớm về tình trạng ô nhiễm không khí.

Ngoài ra, Ấn Độ còn sử dụng công nghệ Blockchain và IoT để biến đổi hoàn toàn việc quản lý nguồn cung cấp nước tại các thành phố thông minh (Datta et al., 2024). Mô hình BIoT cho giám sát chất lượng nước bao gồm nhiều cảm biến (mức nước, lưu lượng, pH, độ đục và TDS) kết nối với bộ điều khiển lõi Raspberry Pi. Mô hình được chia thành phần giám sát thông số nước IoT và phần công nghệ số sử dụng Blockchain. Dữ liệu cảm biến được xử lý trước khi gửi lên Blockchain, cho phép lưu trữ và truy xuất thông tin một cách an toàn.

Hệ thống cho phép theo dõi liên tục và phát hiện sớm các vấn đề như rò rỉ, đồng thời sử dụng dữ liệu để dự đoán lỗi thiết bị. Blockchain đảm bảo tính xác thực và bảo mật dữ liệu, hỗ trợ quản lý tài nguyên nước hiệu quả bằng cách ghi lại thông tin tiêu thụ một cách minh bạch và không thể thay đổi. Mô hình BIoT này có tiềm năng lớn trong việc cải thiện quản lý nước, giảm thiểu lãng phí và tăng hiệu quả mạng lưới phân phối nước, đặc biệt trong bối cảnh thiếu nước ngày càng gia tăng.

Các mô hình triển khai thực tế tại Singapore và Ấn Độ cho thấy tiềm năng lớn của công nghệ số trong việc

nâng cao hiệu quả giám sát môi trường. Tại Singapore, sự kết hợp giữa IoT và AI đã giúp tăng cường độ chính xác trong việc theo dõi và dự báo chất lượng không khí, tạo ra những lợi ích thiết thực cho sức khỏe cộng đồng. Trong khi đó, tại Ấn Độ, Blockchain đã giúp cải thiện tính minh bạch và độ tin cậy của dữ liệu, giúp các cơ quan quản lý có thể đưa ra các quyết định đúng đắn hơn dựa trên dữ liệu không thể bị can thiệp.

Việt Nam đã đạt được nhiều tiến bộ trong phát triển kinh tế - xã hội nhưng cũng đối mặt với nhiều thách thức về môi trường, đặc biệt là tại các điểm nóng ô nhiễm. Luật BVMT năm 2020 yêu cầu các dự án và cơ sở sản xuất phải công khai kết quả quan trắc chất thải, nhằm tăng cường tính minh bạch và giám sát. Một giải pháp nổi bật là phần mềm Quản lý dữ liệu quan trắc tự động (Envisoft) của Bộ TN&MT. Phần mềm này kết nối với datalogger để giám sát môi trường theo thời gian thực, giúp phát hiện và xử lý kịp thời các sự cố. Envisoft đáp ứng nhiều chức năng quan trọng như thu thập và xử lý dữ liệu, giám sát tình trạng thiết bị theo thời gian thực, quản lý việc lấy mẫu, kiểm duyệt dữ liệu và truyền nhận dữ liệu giữa trung ương và địa phương. Việc tích hợp nhiều nghiệp vụ trên một nền tảng giúp nâng cao hiệu quả công tác điều hành. Phần mềm cho phép cập nhật dữ liệu liên tục và công bố công khai, cung cấp thông tin kịp thời cho việc quản lý môi trường và tạo điều kiện cho sự giám sát của cộng đồng. Tuy nhiên, Envisoft cũng còn một số hạn chế, như chưa kết nối trực tiếp IoT từ các thiết bị đo, dẫn đến việc thu thập dữ liệu chưa thực sự tối ưu. Phần mềm cũng chưa tích hợp AI để phân tích dữ liệu sâu hơn hoặc cung cấp dự báo chính xác hơn. Ngoài ra, Envisoft chưa áp dụng công nghệ Blockchain, một giải pháp tiềm năng để tăng cường tính minh bạch và bảo mật trong quản lý dữ liệu môi trường.

3.2. Lợi ích của chuyển đổi số trong giám sát môi trường

Chuyển đổi số đang thay đổi cách thức đo lường, kiểm soát và quản lý ô nhiễm. Nghiên cứu cho thấy chuyển đổi số trong giám sát môi trường giúp giảm ô nhiễm không khí và phát thải carbon, đồng thời hỗ trợ xử lý nước thải và đối phó với biến đổi khí hậu. Sự ứng dụng của AI trong kiểm soát ô nhiễm ngày càng phổ biến, giúp giải quyết các vấn đề môi trường phức tạp và khó đoán (Ye et al., 2020). Ngoài ra, cũng có những



nghiên cứu về cách công nghệ IoT đang được sử dụng để đo lường và kiểm soát ô nhiễm không khí (Idrees & Zheng, 2020). Các cảm biến IoT cung cấp thông tin giám sát thời gian thực và chứng minh tiềm năng to lớn như một công cụ hiệu quả để hiểu chuyển động của đám mây PM_{2.5} với sự thay đổi theo thời gian và vị trí địa lý cụ thể, giúp cải thiện chất lượng không khí tốt hơn (Kanabkaew et al., 2019). Việc áp dụng các thiết bị IoT trong giám sát môi trường còn giúp thu thập dữ liệu liên tục và đồng bộ. Trước đây, các phương pháp đo lường truyền thống thường dựa vào các thiết bị đo cầm tay hoặc hệ thống cơ học, vốn dễ bị sai số do sự can thiệp của con người hoặc yếu tố môi trường. Với IoT, các cảm biến được lắp đặt tại nhiều điểm quan trắc có thể thu thập dữ liệu liên tục, cho phép ghi nhận mọi thay đổi nhỏ nhất về nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí hoặc nước.

Blockchain cũng được ứng dụng trong giám sát môi trường, nâng cao độ tin cậy của thông tin bằng cách ngăn chặn gian lận và bảo vệ tính chính xác của dữ liệu. Zhao đã đề cập rằng blockchain có thể giải quyết các vấn đề về "kho dữ liệu riêng biệt", "xác nhận quyền dữ liệu" và xây dựng lòng tin mà internet truyền thống đang phải đối mặt, đồng thời có thể hạn chế các vấn đề về lòng tin như làm giả dữ liệu và khó khăn trong việc truy xuất trách nhiệm hiện hữu trong quản lý sinh thái tài nguyên khoáng sản. Yang và Hu, 2022 cho rằng blockchain có thể tối ưu hóa quản trị sinh thái, nâng cao hiệu quả giám sát môi trường, phát triển thương mại sinh thái trên thị trường và kích thích tiềm năng BVMT từ phía cộng đồng (Guo et al., 2022). Chuyển đổi số trong đo lường và giám sát môi trường giúp cảnh báo sớm về thiên tai và ô nhiễm, từ đó giảm thiểu thiệt hại. Hệ thống MyAQI, phát triển bởi Schürholz và cộng sự (Schürholz et al., 2019) đã kết hợp IoT và AI để giám sát chất lượng không khí và gửi thông báo cá nhân hóa đến người dùng dựa trên mức độ nhạy cảm của họ với ô nhiễm.

Những lợi ích của chuyển đổi số trong giám sát môi trường rất rõ ràng. IoT nâng cao độ chính xác trong thu thập dữ liệu, Blockchain đảm bảo tính minh bạch và AI giúp phân tích và dự đoán xu hướng môi trường. Để tối đa hóa tiềm năng của các công nghệ này, cần đầu tư vào cơ sở hạ tầng, đào tạo nhân lực và xây dựng chiến lược quản lý hiệu quả.

3.3. Thách thức và giải pháp

Chuyển đổi số trong giám sát môi trường mang lại nhiều lợi ích nhưng cũng đối mặt với những thách thức lớn. Các thách thức chính bao gồm chi phí triển khai cao, yêu cầu bảo mật dữ liệu nghiêm ngặt và sự thiếu hụt nguồn nhân lực có kỹ năng.

Chi phí triển khai là một trong những rào cản chính, đặc biệt đối với các quốc gia đang phát triển. Đầu tư vào hạ tầng kỹ thuật số và công nghệ tiên tiến như IoT, AI và Blockchain là rất lớn. Việc thiết lập và bảo trì các thiết bị IoT đòi hỏi chi phí đáng kể và thường xuyên, gây áp lực tài chính lớn cho các chương trình giám sát dài hạn. Hơn nữa, sự tương thích giữa các thiết bị và nền tảng IoT cũng làm tăng chi phí vận hành, vì việc thiết lập và duy trì khả năng tương tác giữa các hệ thống là phức tạp và tốn kém.

Bảo mật dữ liệu là một thách thức nổi bật trong quá trình chuyển đổi số. Các thiết bị IoT thu thập lượng lớn dữ liệu, nhưng điều này đi kèm với nhiều vấn đề về bảo mật và quyền riêng tư. Khả năng tương tác giữa các nền tảng IoT cũng có thể tạo ra lỗ hổng bảo mật, làm tăng nguy cơ bị tấn công mạng. Bên cạnh đó, nhiều thiết bị IoT không có tính năng bảo mật tiên tiến, khiến chúng trở thành mục tiêu dễ dàng cho các cuộc tấn công (Shin et al., 2013).

Do đó, cần có một khuôn khổ pháp lý mạnh mẽ và sự hợp tác giữa các cơ quan chính phủ, viện nghiên cứu, và nhà cung cấp công nghệ. Việc áp dụng các giải pháp như điện toán biên có thể giúp giảm độ trễ và tăng cường bảo mật bằng cách xử lý dữ liệu gần nguồn cảm biến hơn. Blockchain cũng có vai trò quan trọng trong việc nâng cao bảo mật dữ liệu, giúp đảm bảo tính toàn vẹn và độ chính xác của dữ liệu môi trường. Theo Almutairi và cộng sự đã ủng hộ mạnh mẽ việc sử dụng công nghệ blockchain trong lĩnh vực cung cấp năng lượng bền vững và cảm thấy rằng các công nghệ mới như blockchain có thể hỗ trợ tăng cường lòng tin, tính minh bạch, trách nhiệm giải trình, chia sẻ thông tin và hợp tác trong lĩnh vực.

Một trong những thách thức lớn nhất trong chuyển đổi số hoạt động đo lường và giám sát môi trường là về mặt nhận thức của các bên liên quan. Nhiều tổ chức và doanh nghiệp chưa nhận thức rõ về tầm quan trọng của công nghệ số trong việc nâng cao hiệu quả và độ chính xác của quá trình giám sát môi trường. Phần lớn



các đơn vị vẫn quen thuộc với các phương pháp đo lường và quan trắc thủ công, điều này khiến họ e ngại khi tiếp cận công nghệ mới. Việc thay đổi tư duy truyền thống sang chấp nhận các giải pháp kỹ thuật số không chỉ đòi hỏi sự hiểu biết về giá trị của dữ liệu thời gian thực mà còn cần khả năng vận hành hệ thống mới một cách hiệu quả.

Thiếu hụt nguồn nhân lực có kỹ năng là cũng là một thách thức đáng kể không nhỏ, đặc biệt ở các quốc gia đang phát triển. Các công nghệ như IoT, AI và Blockchain yêu cầu nhân lực không chỉ có kiến thức về công nghệ mà còn hiểu rõ các tiêu chuẩn đo lường môi trường. Việc thiếu nguồn nhân lực được đào tạo đầy đủ không chỉ làm chậm tiến độ triển khai mà còn giảm hiệu quả của các dự án chuyển đổi số. Để khắc phục vấn đề này, cần tăng cường đào tạo và giáo dục, khuyến khích nghiên cứu và phát triển, xây dựng chương trình chứng nhận và học tập suốt đời, cũng như tạo ra mạng lưới chuyên gia để chia sẻ kiến thức. Hơn nữa, sự hỗ trợ từ chính phủ cũng rất cần thiết nhằm tạo điều kiện cho việc đào tạo và phát triển nhân lực trong lĩnh vực công nghệ số, qua đó đảm bảo rằng họ không chỉ có kiến thức về công nghệ mà còn am hiểu về các tiêu chuẩn và ứng dụng thực tiễn.

Việc triển khai chuyển đổi số trong giám sát môi trường đối mặt với nhiều thách thức lớn, từ chi phí

triển khai cao, yêu cầu bảo mật dữ liệu nghiêm ngặt, đến sự thiếu hụt nguồn nhân lực có kỹ năng chuyên môn. Để vượt qua những thách thức này, các chính phủ và tổ chức cần có chiến lược dài hạn, bao gồm việc tăng cường đầu tư vào cơ sở hạ tầng công nghệ, phát triển các giải pháp an ninh mạng mạnh mẽ và đào tạo nguồn nhân lực có kỹ năng phù hợp. Chỉ khi giải quyết được các thách thức này, tiềm năng của chuyển đổi số trong giám sát môi trường mới có thể được phát huy một cách toàn diện và bền vững.

4. Kết luận

Chuyển đổi số trong hoạt động đo lường và giám sát môi trường đã và đang mở ra những cơ hội to lớn, góp phần cải thiện đáng kể độ chính xác và hiệu quả trong quản lý môi trường. Việc áp dụng các công nghệ tiên tiến như IoT, AI và Blockchain đã tạo ra những thay đổi mang tính đột phá, cho phép các hệ thống giám sát hoạt động liên tục và chính xác, đồng thời tăng cường tính minh bạch và dự báo hiệu quả. Các công nghệ này không chỉ giúp quản lý tài nguyên một cách bền vững hơn mà còn đáp ứng được các yêu cầu khắt khe về BVMT trong bối cảnh biến đổi khí hậu và gia tăng ô nhiễm toàn cầu.

Tuy nhiên, để quá trình chuyển đổi số diễn ra thành công, các cơ quan quản lý cần có những bước chuẩn bị toàn diện. Việc đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao là yếu tố then chốt, bởi các công nghệ tiên tiến đòi



hỏi kỹ năng chuyên môn và sự am hiểu sâu về cả công nghệ lẫn đo lường. Ngoài ra, đầu tư vào cơ sở hạ tầng số cũng là một yêu cầu bắt buộc để đảm bảo các hệ thống vận hành trơn tru, đáng tin cậy và có thể mở rộng quy mô.

Dù vẫn còn những thách thức, đặc biệt là về chi phí triển khai và bảo mật dữ liệu, nhưng nếu được quản lý và thực hiện đúng cách, chuyển đổi số trong giám sát môi trường sẽ trở thành một công cụ quan trọng góp phần bảo vệ và duy trì môi trường bền vững cho các thế hệ tương lai ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Quốc hội nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, “Luật số: 72/2020/QH14 - Luật BVMT,” 2020.
- G. R. C. Andrés, “CleanWiFi: The wireless network for air quality monitoring, community Internet access and environmental education in smart cities,” *Proceedings of the 2016 ITU Kaleidoscope Academic Conference: ICTs for a Sustainable World, ITU WT 2016*, vol. 5, 2017, doi: 10.1109/ITU-WT.2016.7805708.
- R. V. Rivera J., “Gartner Says 4.9 Billion Connected „Things” Will Be in Use in 2015,” 2014.
- E. El-Shafeiy, M. Alsabaan, M. I. Ibrahim, and H. Elwahsh, “Real-Time Anomaly Detection for Water Quality Sensor Monitoring Based on Multivariate Deep Learning Technique,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, no. 20, pp. 1–21, 2023, doi: 10.3390/s23208613.
- B. Fang et al., *Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review*, vol. 21, no. 4. Springer International Publishing, 2023. doi: 10.1007/s10311-023-01604-3.
- H. N. Dai, Z. Zheng, and Y. Zhang, “Blockchain for Internet of Things: A Survey,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, pp. 8076–8094, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2920987.
- C. Cocioaba and D. Tudose, “Environmental Monitoring Using Heterogeneous Wi-Fi and IEEE 802.15.4 Networks,” *Proceedings - 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer, CSCS 2017*, pp. 149–155, 2017, doi: 10.1109/CSCS.2017.27.
- G. Mois, S. Folea, and T. Sanislav, “Analysis of Three IoT-Based Wireless Sensors for Environmental Monitoring,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 66, no. 8, pp. 2056–2064, 2017, doi: 10.1109/TIM.2017.2677619.
- National Environment Agency, “Air quality in Singapore,” *Ethiopia Public Health Training Initiative*. [Online]. Available: <https://www.nea.gov.sg/our-services/pollution-control/air-pollution/air-quality>
- A. Kumar and T. Gupta, “Development and field evaluation of a multiple slit nozzle-based high volume PM2.5 inertial impactor assembly (HVIA),” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 15, no. 4, pp. 1188–1200, 2015, doi: 10.4209/aaqr.2015.01.0050.
- S. Datta, S. K. Mahato, K. Tiwari, and A. K. Biswas, “Blockchain Enabled IOT-Based Water Management System for Smart Cities,” vol. 13, no. 5, pp. 5–8, 2024.
- Z. Ye, J. Yang, N. Zhong, X. Tu, J. Jia, and J. Wang, *Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review*, vol. 699. Elsevier B.V, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134279.
- M. De Gennaro, E. Paffumi, and G. Martini, “Big Data for Supporting Low-Carbon Road Transport Policies in Europe: Applications, Challenges and Opportunities,” *Big Data Research*, vol. 6, pp. 11–25, 2016, doi: 10.1016/j.bdr.2016.04.003.
- Q. An, Y. Wen, B. Xiong, M. Yang, and X. Chen, “Allocation of carbon dioxide emission permits with the minimum cost for Chinese provinces in big data environment,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, pp. 886–893, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.072.
- Z. Idrees and L. Zheng, “Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 17, p. 100123, 2020, doi: 10.1016/j.jii.2019.100123.
- T. Kanabkaew, P. Mekbungwan, S. Raksakietisak, and K. Kanchanasut, “Detection of PM2.5 plume movement from IoT ground level monitoring data,” *Environmental Pollution*, vol. 252, pp. 543–552, 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.082.
- M. Guo et al., “Application of Blockchain Technology in Environmental Health: Literature Review and Prospect of Visualization Based on CiteSpace,” *Technologies*, vol. 10, no. 5, 2022, doi: 10.3390/technologies10050100.
- D. Schürholz, A. Zaslavsky, and S. Kubler, “Context- and Situation Prediction for the MyAQI Urban Air Quality Monitoring System,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 11660 LNCS, pp. 77–90, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-30859-9_7.
- S. Shin, Z. Xu, and G. Gu, “EFFORT: A new host-network cooperated framework for efficient and effective bot malware detection,” *Computer Networks*, vol. 57, no. 13, pp. 2628–2642, 2013, doi: 10.1016/j.comnet.2013.05.010.
- K. Almutairi et al., “Blockchain Technology Application Challenges in Renewable Energy Supply Chain Management,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 28, pp. 72041–72058, 2023, doi: 10.1007/s11356-021-18311-7.