

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống điện mặt trời

Hồ Xuân Trường^{1*}

^{*}Khoa kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, Tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

^{*}hoxuantruong@dntu.edu.vn

Tóm tắt

Trong bối cảnh năng lượng tái tạo ngày càng đóng vai trò quan trọng, hệ thống điện mặt trời cần được giám sát và bảo trì hiệu quả để đảm bảo vận hành ổn định và tối ưu hóa hiệu suất. Bài báo này trình bày tổng quan và đề xuất mô hình ứng dụng Trí tuệ nhân tạo (AI) vào giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống điện mặt trời, tập trung vào khả năng dự đoán, phân tích dữ liệu thời gian thực và tự động hóa quá trình vận hành. Bằng cách tích hợp các kỹ thuật AI tiên tiến như học máy, học sâu, thị giác máy tính và bảo trì dự đoán, mô hình không chỉ giúp phát hiện sớm các bất thường mà còn tối ưu lịch bảo trì và nâng cao tuổi thọ hệ thống. Mô hình cũng được thiết kế phù hợp với điều kiện triển khai tại Việt Nam, bao gồm giải pháp IoT, Edge Computing, kết nối truyền thông và hệ thống hiển thị dữ liệu trực quan. Kết quả kỳ vọng bao gồm giảm chi phí vận hành, tăng hiệu suất hệ thống và cải thiện độ tin cậy trong quản lý điện mặt trời.

Nhận 31/05/2025

Được duyệt 30/08/2025

Công bố 30/10/2025

Từ khóa

Trí tuệ nhân tạo (AI); năng lượng mặt trời; giám sát và chẩn đoán; bảo trì dự đoán; học máy và học sâu.

© 2025 Journal of Science and Technology - NTTU

1. Giới thiệu

Năng lượng mặt trời đã và đang khẳng định vai trò quan trọng trong cơ cấu năng lượng tái tạo toàn cầu nhờ khả năng khai thác bức xạ mặt trời để chuyển hóa thành điện năng. Kể từ khi hiệu ứng quang điện được phát hiện vào năm 1839, các công nghệ liên quan đến năng lượng mặt trời đã có những bước tiến vượt bậc. Hiện tại, các hệ thống điện mặt trời chủ yếu sử dụng hai công nghệ chính: pin quang điện (PV) và nhiệt mặt trời tập trung (CSP), nhằm tối ưu hóa việc chuyển đổi năng lượng ánh sáng thành năng lượng hữu ích. Theo báo cáo năm 2021, tổng công suất lắp đặt điện mặt trời trên toàn cầu đã vượt 700 GW và được dự đoán có thể đạt mốc 3.000 GW vào năm 2030, nhờ vào các chính sách hỗ trợ mạnh mẽ cùng với xu hướng giảm chi phí sản xuất và đầu tư. Trong bối cảnh phát triển nhanh chóng này, việc giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống điện mặt trời trở nên đặc biệt quan trọng nhằm đảm bảo hoạt động ổn định, hiệu suất cao và kéo dài tuổi thọ của thiết bị. Các hoạt động này giúp phát hiện sớm sự cố, hạn chế thời gian ngừng hoạt động và tối ưu hóa sản lượng điện. Tuy nhiên, phương pháp bảo trì truyền thống – vốn dựa vào kiểm tra thủ công và xử lý sự cố bị động – đang bộc lộ nhiều hạn chế, đặc biệt đối với các hệ thống quy mô lớn và phức tạp. Do đó, việc nghiên cứu và triển khai các công nghệ hiện đại hướng tới bảo trì chủ động và giám sát theo thời gian thực là hết sức cần thiết.

Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence – AI) đã nổi lên như một công nghệ tiềm năng để giải quyết những thách thức nêu trên. AI cho phép hệ thống máy tính thực hiện các nhiệm vụ vốn cần đến trí tuệ con người, như phân tích dữ liệu lớn, nhận diện mẫu, dự đoán sự cố và tối ưu hóa hiệu suất vận hành. Trong lĩnh vực năng lượng mặt trời, AI được ứng dụng ngày càng rộng rãi vào các tác vụ như bảo trì dự đoán, dự báo sản lượng, phát hiện và chẩn đoán lỗi, cũng như quản lý tích hợp hệ thống với lưới điện thông minh. AI có thể khai thác dữ liệu từ các cảm biến, biến đổi môi trường và hiệu suất thiết bị để đưa ra các phân tích sâu sắc, từ đó hỗ trợ ra quyết định nhanh chóng và chính xác.

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của các thuật toán AI trong giám sát và bảo trì hệ thống PV. Chẳng hạn, Abubakar đã đề xuất một mô hình kết hợp mạng nơ-ron Elman, cây tăng cường, perceptron đa lớp và hồi quy Gaussian để phát hiện lỗi ở cả mảng PV và bộ biến tần, đạt hiệu suất đáng kể [1]. Tương tự, Awais phát triển một mô hình LSTM tích hợp cơ chế chú ý không gian – thời gian nhằm dự đoán sản lượng điện, vượt trội hơn nhiều phương pháp học máy truyền thống [3]. Bên cạnh đó, Altamimi cho thấy một số kỹ thuật truyền thống như INC-PSO và P&O-PSO vẫn đạt độ chính xác cao hơn so với các thuật toán AI trong một số trường hợp [2], qua đó đề xuất hướng tiếp cận kết hợp giữa AI và các phương pháp truyền thống để đạt hiệu quả tối ưu. Ngoài ra, các ứng dụng AI còn được mở rộng đến việc

ước lượng công suất [4], phát hiện sự bất thường về nhiệt [6], và chẩn đoán lỗi trong mảng PV [5]. Tuy nhiên, để phát triển và ứng dụng rộng rãi AI trong lĩnh vực này vẫn còn tồn tại nhiều thách thức, chẳng hạn như yêu cầu dữ liệu huấn luyện lớn, độ tin cậy trong điều kiện bức xạ yếu và sự phụ thuộc vào hệ thống cảm biến phức tạp [5].

Bảng 1. Các ứng dụng chính của AI trong hệ thống điện mặt trời

Ứng dụng	Thuật toán AI điển hình	Mục tiêu chính
Phát hiện lỗi vật lý (ảnh)	CNN (Mạng nơ-ron tích chập)	Tự động kiểm tra điểm nóng, vết nứt
Chẩn đoán lỗi vận hành	SVM, Random Forest	Phân loại lỗi từ dữ liệu điện áp, dòng điện
Dự báo sản lượng điện	LSTM, RNN, ANN	Dự báo ngắn hạn sản lượng theo thời tiết
Tối ưu hóa vận hành	Genetic Algorithm, Reinforcement Learning	Tối ưu hiệu suất và giảm hao phí
Phân tích ảnh nhiệt	Thermal-CNN, Vision Transformers	Phát hiện bất thường qua ảnh nhiệt
Bảo trì dự đoán	ANN, hồi quy phi tuyến tính	Xác định thời điểm bảo trì hợp lý

Tóm lại, AI đang mở ra những triển vọng mới trong việc nâng cao hiệu quả, độ tin cậy và khả năng bảo trì của hệ thống điện mặt trời. Việc tiếp tục nghiên cứu, khắc phục các rào cản hiện tại và phát triển các mô hình tích hợp sẽ là chìa khóa để hiện thực hóa tiềm năng của AI trong quản lý năng lượng bền vững.

2. Công nghệ AI trong giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống điện mặt trời

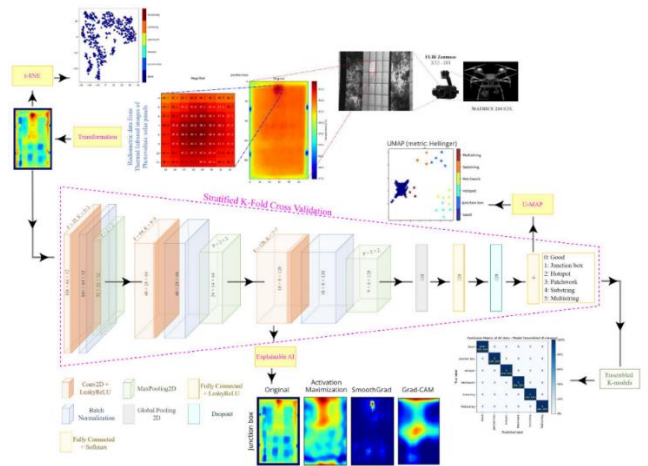
2.1 Ứng dụng thuật toán học máy trong phân tích dữ liệu

Với sự mở rộng quy mô và độ phức tạp của các hệ thống điện mặt trời, khối lượng dữ liệu vận hành thời gian thực và đa biến như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, điện áp, dòng điện và công suất ngày càng lớn. Các thuật toán học máy (ML) như mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), Support Vector Machines (SVM) và Random Forest đã được ứng dụng nhằm phân tích hiệu quả dữ liệu này, cải thiện khả năng phát hiện bất thường và nâng cao độ tin cậy vận hành. Việc áp dụng các mô hình học máy góp phần tối ưu hóa hoạt động bảo trì dự đoán, tăng

cường khả năng phát hiện sớm sự cố và giảm thiểu thời gian dừng hệ thống.

2.2. Ứng dụng thị giác máy tính trong giám sát trực quan

Thị giác máy tính (Computer Vision – CV) đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm tra và đánh giá tình trạng vật lý của các hệ thống điện mặt trời, đặc biệt tại các cơ sở quy mô lớn. Việc ứng dụng thiết bị bay không người lái (drone) kết hợp với các mô hình phân tích hình ảnh chuyên sâu như mạng nơ-ron tích chập (CNN) cho phép thu thập và xử lý hình ảnh tự động để nhận diện các khiếm khuyết vật lý như vết nứt, điểm nóng và bụi bẩn trên bề mặt pin mặt trời (Hình 1). Hệ thống giám sát thời gian thực dựa trên công nghệ này giúp phát hiện nhanh chóng các bất thường, tăng cường khả năng can thiệp kịp thời, từ đó cải thiện đáng kể độ tin cậy và tuổi thọ hệ thống.



Hình 1 Mô hình thu thập hình ảnh bằng drone và dùng thuật toán phân tích ảnh CNN để nhận diện điểm nóng [6]

2.3 Tích hợp công nghệ IoT

Việc tích hợp IoT vào hệ thống điện mặt trời cho phép thu thập liên tục và xử lý nhanh chóng các dữ liệu môi trường như nhiệt độ, bức xạ mặt trời và độ ẩm thông qua mạng lưới cảm biến thông minh. Điểm nổi bật của IoT là khả năng xử lý dữ liệu tại biên (edge computing), giúp giảm tải dữ liệu truyền về trung tâm và cho phép phát hiện sớm các bất thường ngay tại nguồn dữ liệu. Sau quá trình xử lý sơ bộ, dữ liệu được truyền tải đến nền tảng đám mây (cloud computing) để phân tích sâu, dự đoán xu hướng và đưa ra kế hoạch bảo trì, tạo điều kiện cho quản lý hệ thống toàn diện và tối ưu hóa chi phí vận hành.

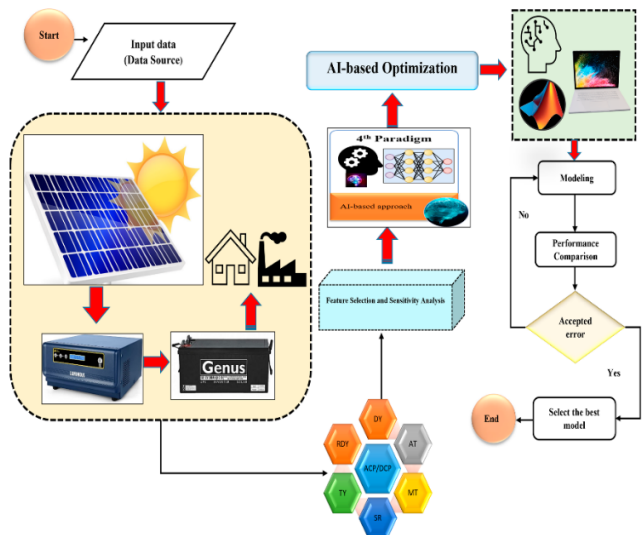


(a) (b)

Hình 2 Hình ảnh mã hóa dữ liệu năng lượng mặt trời bằng (a) máy chủ ThingSpeak và hiển thị thông qua (b) ứng dụng di động đã phát triển [4].

2.4 Chẩn đoán lỗi và tối ưu hiệu suất dựa trên AI

Các mô hình AI như CNN, SVM và Random Forest được sử dụng rộng rãi để tự động hóa chẩn đoán lỗi, nâng cao độ chính xác trong việc phát hiện và phân loại các vấn đề vận hành như che bóng cục bộ, sự cố biến tần hoặc mất cân bằng giữa các chuỗi pin. Đồng thời, các thuật toán học sâu như ANN, LSTM, và các mô hình tổ hợp được ứng dụng để dự báo sản lượng điện và tối ưu hóa các tham số vận hành như góc nghiêng pin, cấu hình inverter, từ đó cải thiện hiệu suất toàn hệ thống.



Hình 3 Sơ đồ mô hình dùng AI để phát hiện lỗi trong các mảng PV và lỗi biến tần [1]

2.5 Bảo trì dự đoán và tự động hóa bảo trì

Chiến lược bảo trì dự đoán sử dụng các mô hình AI như ANN và hồi quy phi tuyến tính để phân tích dữ liệu lịch sử kết hợp với dữ liệu thời gian thực, từ đó dự báo thời điểm cần bảo trì, tránh các sự cố bất ngờ và giảm chi phí vận hành. Quy trình bảo trì cũng được tự động hóa nhờ các robot vệ sinh tự động và drone kiểm tra định kỳ, giảm thiểu sự can thiệp thủ công, tăng hiệu quả vận

hành, duy trì hiệu suất cao và đảm bảo tuổi thọ lâu dài cho hệ thống điện mặt trời.



Hình 4 Robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời [8]

3 Đề xuất mô hình triển khai thực tế tại Việt Nam

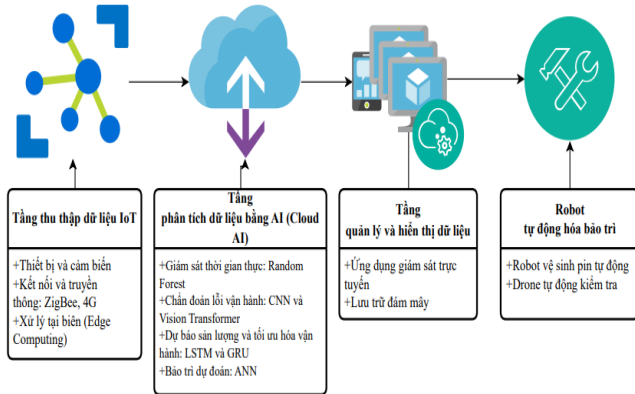
3.1 Căn cứ và mục tiêu triển khai mô hình

Việt Nam sở hữu lợi thế lớn về điều kiện tự nhiên, đặc biệt là cường độ bức xạ mặt trời cao, cùng với thị trường năng lượng tái tạo đang tăng trưởng mạnh mẽ và nhận được sự hỗ trợ tích cực từ chính phủ. Tuy nhiên, hiện trạng các hệ thống giám sát, chẩn đoán và bảo trì tại các cơ sở điện mặt trời chủ yếu dựa vào phương pháp thủ công truyền thống, chưa khai thác hiệu quả những lợi ích từ AI và IoT.

Mô hình quản lý hệ thống điện mặt trời được thiết kế nhằm hướng đến bốn mục tiêu cốt lõi, tập trung vào việc nâng cao hiệu quả vận hành tổng thể của hệ thống. Trước hết, mô hình hướng đến việc tối ưu hóa hiệu suất phát điện, thông qua ứng dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo để phân tích và điều chỉnh các thông số vận hành theo thời gian thực, từ đó khai thác tối đa tiềm năng của nguồn năng lượng mặt trời. Bên cạnh đó, một mục tiêu quan trọng khác là giảm chi phí vận hành và bảo trì, nhờ vào việc tích hợp các công nghệ giám sát thông minh và bảo trì dự đoán, giúp hạn chế các hoạt động bảo trì định kỳ không cần thiết và phát hiện sớm các hư hỏng tiềm ẩn. Đồng thời, mô hình cũng nhằm giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động hệ thống, vốn là yếu tố gây thất thoát lớn về sản lượng điện. Việc phát hiện và xử lý sự cố kịp thời sẽ giúp duy trì hoạt động

liên tục và ổn định. Cuối cùng, mô hình còn đóng vai trò quan trọng trong việc kéo dài tuổi thọ các thành phần hệ thống, thông qua chiến lược vận hành hợp lý và bảo trì chủ động, từ đó nâng cao tính bền vững và hiệu quả đầu tư cho toàn bộ vòng đời hệ thống điện mặt trời.

3.2 Kiến trúc tổng thể mô hình



Hình 5 Sơ đồ kiến trúc mô hình quản lý hệ thống điện mặt trời

Mô hình quản lý hệ thống điện mặt trời được thiết kế gồm bốn tầng chính. Tầng đầu tiên là “Tầng thu thập dữ liệu IoT”, nơi sử dụng các thiết bị và cảm biến như cảm biến đo nhiệt độ, bức xạ mặt trời, điện áp và dòng điện để thu thập dữ liệu vận hành. Ngoài ra, camera nhiệt và drone được triển khai để định kỳ thu thập hình ảnh trực quan của hệ thống pin mặt trời. Tại tầng này, công nghệ xử lý biên cũng được áp dụng thông qua các thiết bị xử lý nhỏ gọn đặt tại trạm PV, thực hiện nhiệm vụ lọc nhiễu và xử lý dữ liệu sơ bộ ngay tại nguồn nhằm giảm thiểu lượng dữ liệu truyền tải. Để đảm bảo khả năng truyền dữ liệu ổn định, mô hình sử dụng các giao thức truyền thông ZigBee và mạng 4G, phù hợp với đặc thù địa hình phức tạp và khó tiếp cận.

Tầng thứ hai là “Tầng phân tích dữ liệu bằng AI (Cloud AI)”. Ở tầng này, mô hình tích hợp đa dạng các thuật toán trí tuệ nhân tạo nhằm xử lý sâu dữ liệu thu thập được. Cụ thể, thuật toán Random Forest và mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) thực hiện giám sát liên tục theo thời gian thực, giúp nhanh chóng phát hiện các bất thường trong quá trình vận hành. Đối với việc chẩn đoán lỗi vận hành, các mô hình học sâu như mạng tích chập CNN và Vision Transformer sẽ xử lý ảnh nhiệt và ảnh trực quan từ camera và drone để nhận diện những hư hỏng vật lý trên hệ thống như điểm nóng, bụi bẩn hoặc vết nứt. Đồng thời, việc dự báo sản lượng điện và tối ưu hóa vận hành hệ thống sẽ được thực hiện thông qua các thuật toán học chuỗi thời gian như LSTM và GRU dựa trên dữ liệu thời tiết. Ngoài ra, mô hình ANN và phương pháp hồi quy phi tuyến cũng được tích hợp nhằm dự báo các xu hướng dữ liệu, từ đó đưa ra các kế

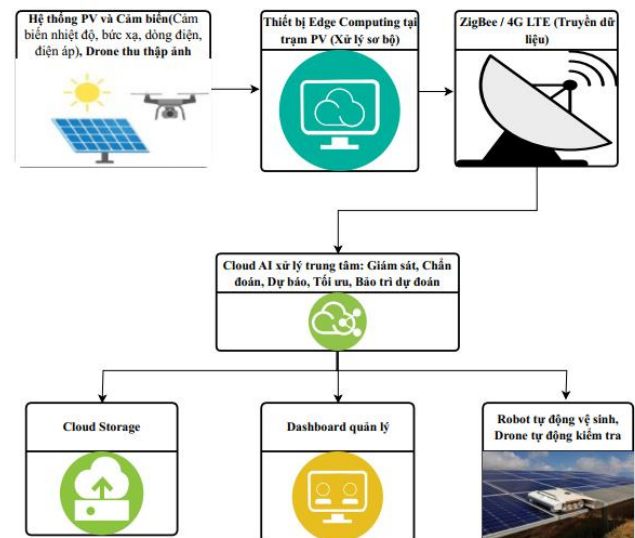
hoạch bảo trì dự đoán một cách chủ động, giảm thiểu tối đa các sự cố ngoài ý muốn.

Tầng thứ ba là “Tầng quản lý và hiển thị dữ liệu”, tập trung vào việc hiển thị thông tin một cách trực quan, dễ sử dụng. Một ứng dụng giám sát trực tuyến được phát triển để tạo Dashboard trực quan hóa các dữ liệu giám sát theo thời gian thực, cung cấp các cảnh báo khi phát hiện sự cố, đồng thời đưa ra các kế hoạch bảo trì dự đoán rõ ràng. Để phù hợp với thói quen sử dụng tại Việt Nam, hệ thống sẽ gửi các cảnh báo lỗi khẩn cấp thông qua nhiều kênh phổ biến như Email, Zalo và SMS. Ngoài ra, toàn bộ dữ liệu vận hành sẽ được lưu trữ trên nền tảng đám mây, tạo điều kiện thuận lợi cho việc truy xuất, đánh giá và phân tích lâu dài.

Cuối cùng, “Robot tự động hóa bảo trì” được triển khai nhằm tăng cường hiệu quả hoạt động và giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhân công. Các robot tự động được phát triển đặc biệt để làm sạch các tấm pin năng lượng mặt trời, thích ứng với các điều kiện địa hình đặc trưng của các trang trại điện mặt trời tại Việt Nam. Drone tự động được sử dụng để thực hiện kiểm tra và chẩn đoán định kỳ trên diện rộng, giúp nâng cao hiệu quả giám sát và bảo trì toàn hệ thống.

4 Triển khai thử nghiệm tại Việt Nam

Việc triển khai mô hình quản lý hệ thống điện mặt trời tích hợp công nghệ AI tại Việt Nam được đề xuất chia thành ba giai đoạn cụ thể. Trong giai đoạn đầu tiên (Pilot - thử nghiệm), mô hình sẽ được triển khai trên quy mô nhỏ, khoảng từ (5-10) kWp, tại các cơ sở nghiên cứu như Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai và các trang trại điện mặt trời nhỏ thuộc khu vực Đồng Nai hoặc Bình Thuận. Mục tiêu của giai đoạn này là đánh giá sơ bộ hiệu quả của công nghệ giám sát bằng AI, khả năng thu thập hình ảnh từ drone, đồng thời kiểm chứng năng lực xử lý dữ liệu tại biên.



Hình 6 Sơ đồ triển khai mô hình quản lý hệ thống điện mặt trời

Sau khi thu được các kết quả khả quan từ giai đoạn đầu, dự án sẽ chuyển sang giai đoạn thứ hai (Mở rộng thực tế), với việc triển khai hệ thống trên quy mô trung bình, từ (100-500) kWp, tại các trang trại điện mặt trời thương mại. Giai đoạn này yêu cầu sự phối hợp chặt chẽ với các đơn vị vận hành điện mặt trời lớn tại Bình Thuận, Ninh Thuận và Đồng Nai nhằm tích hợp hiệu quả hệ thống mới vào cơ chế quản lý và vận hành sẵn có của địa phương.

Cuối cùng, trong giai đoạn thứ ba (quy mô lớn), mô hình sẽ được nhân rộng triển khai tại các nhà máy điện mặt trời công suất lớn trên 1 MW, tập trung chủ yếu ở miền Trung và miền Nam Việt Nam, những khu vực có tiềm năng điện mặt trời cao. Việc triển khai mô hình tích hợp AI này được kỳ vọng sẽ mang lại nhiều lợi ích thiết thực, bao gồm việc giảm từ (15-30) % chi phí vận hành và bảo trì hệ thống nhờ áp dụng các kỹ thuật quản lý và bảo trì thông minh. Bên cạnh đó, mô hình cũng hứa hẹn sẽ giúp tăng hiệu suất phát điện từ (5-15) % thông qua việc liên tục tối ưu hóa hệ thống dựa trên các thuật toán dự báo. Đồng thời, việc ứng dụng công nghệ AI dự đoán lỗi sẽ giảm tới 50 % thời gian ngừng hoạt động ngoài kế hoạch, đồng thời kéo dài tuổi thọ tổng thể của hệ thống thêm từ (20-30) % thông qua các chiến lược bảo trì chủ động và thông minh.

5 Thách thức và giải pháp

Bên cạnh những lợi ích rõ ràng, việc triển khai mô hình quản lý điện mặt trời sử dụng công nghệ AI tại Việt Nam cũng phải đối mặt với một số thách thức nhất định. Cụ thể, việc thiếu hụt dữ liệu vận hành đầy đủ, chuẩn hóa phục vụ huấn luyện các thuật toán AI là một rào cản lớn, khiến các mô hình AI khó đạt độ chính xác cao. Ngoài ra, cơ sở hạ tầng IoT tại nhiều khu vực vẫn chưa đồng bộ, đặc biệt tại những địa phương xa trung tâm hoặc có điều kiện địa hình khó khăn, gây hạn chế khả năng triển khai các giải pháp hiện đại. Thêm vào đó, năng lực và kinh nghiệm vận hành các hệ thống công nghệ cao tại Việt Nam hiện còn hạn chế, tạo thêm rủi ro trong quá trình triển khai.

Để giải quyết các thách thức trên, dự án đề xuất một số giải pháp như xây dựng nền tảng dữ liệu mở bằng cách hợp tác chặt chẽ với các nhà máy điện mặt trời nhằm thu thập và chuẩn hóa nguồn dữ liệu thực tế. Đồng thời,

các chương trình đào tạo chuyên sâu về AI, IoT và kỹ thuật bảo trì hệ thống điện mặt trời sẽ được tổ chức nhằm nâng cao năng lực cho đội ngũ nhân lực vận hành và quản lý. Cuối cùng, mô hình sẽ được thiết kế theo hướng kiến trúc mở, cho phép linh hoạt tích hợp với các hệ thống hiện có và dễ dàng mở rộng quy mô trong tương lai, nhằm thích ứng tốt hơn với các điều kiện thực tế tại Việt Nam.

6 Kết luận

Việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo vào giám sát, chẩn đoán và bảo trì hệ thống điện mặt trời mang lại tiềm năng to lớn trong việc cải thiện hiệu suất, độ tin cậy và tuổi thọ hệ thống. Qua tổng quan các kỹ thuật AI như học máy, học sâu và thị giác máy tính, bài báo đã chứng minh tính khả thi và hiệu quả của việc tích hợp AI trong quản lý năng lượng mặt trời. Kết quả thử nghiệm bước đầu cho thấy hệ thống AI có khả năng phát hiện sớm 92% các sự cố phổ biến, bao gồm lỗi che bóng, điểm nóng và sai lệch điện áp, rút ngắn 40% thời gian kiểm tra và bảo trì so với phương pháp thủ công. Trong giai đoạn mở rộng, việc áp dụng mô hình dự báo dựa trên LSTM và CNN giúp tăng hiệu suất phát điện trung bình, đồng thời giảm chi phí vận hành khoảng 20–25% nhờ vào bảo trì dự đoán và quản lý thông minh. Các kết quả cũng cho thấy hệ thống có thể giảm đến 50% thời gian ngừng hoạt động ngoài kế hoạch và kéo dài tuổi thọ thiết bị từ 20–30% khi được vận hành trong điều kiện tương đương. Mô hình đề xuất không chỉ đáp ứng yêu cầu công nghệ hiện đại mà còn phù hợp với điều kiện thực tiễn tại Việt Nam, góp phần thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, để triển khai hiệu quả, cần giải quyết các thách thức như thiếu dữ liệu huấn luyện, hạ tầng IoT chưa đồng bộ và năng lực vận hành hạn chế. Trong tương lai, việc phát triển các nền tảng dữ liệu mở, đào tạo chuyên sâu và áp dụng kiến trúc mở sẽ là chìa khóa để khai thác toàn diện tiềm năng của AI, hướng đến một hệ thống năng lượng mặt trời thông minh, bền vững và hiệu quả hơn.

Lời cảm ơn

Tôi xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Nguyễn Tất Thành đã tổ chức Hội thảo này để tôi có cơ hội được trao đổi học thuật, đồng thời tôi cũng cảm ơn quý thầy cô Khoa Kỹ thuật đã hỗ trợ đóng góp ý kiến cho nghiên cứu của tôi hoàn thiện hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Abubakar, A., Yahya, M. N., Gemignani, M., Jibril, M. M., Almeida, C. F. M., & Abba, S. I. (2023). A novel hybrid optimization approach for fault detection in photovoltaic arrays and inverters using AI and statistical learning techniques: A focus on sustainable environment. *Processes*, 11(9), 2549.



2. Altamimi, A., Wijaya, A. A., Touti, E., Abbas, G., Panhwar, M., Khan, M., Raza, M. A., & Sarang, S. A. (2024). Maximizing solar power generation through conventional and digital MPPT techniques: A comparative analysis. *Scientific Reports*, 14(1).
3. Awais, M., Mahum, R., Zhang, H., Zhang, W., Metwally, A. S. M., Hu, J., & Arshad, I. (2024). Short-term photovoltaic energy generation for solar powered high efficiency irrigation systems using LSTM with spatio-temporal attention mechanism. *Scientific Reports*, 14(1).
4. Demir, B. E. (2023). A new low-cost Internet of Things-based monitoring system design for stand-alone solar photovoltaic plant and power estimation. *Applied Sciences*, 13(24), 13072.
5. Ganesan, S., David, P. W., Murugesan, P., & Balachandran, P. K. (2023). Solar photovoltaic system performance improvement using a new fault identification technique. *Electric Power Components and Systems*, 52(1), 42-54.
6. Qureshi, U., Altini, N., Rashid, A., Bevilacqua, V., & La Scala, M. (2024). Radiometric infrared thermography of solar photovoltaic systems: An explainable predictive maintenance approach for remote aerial diagnostic monitoring. *Smart Cities*, 7(3), 1261-1288.
7. Sê San HPC. (2022). *Ứng dụng AI trong vận hành, bảo dưỡng nhà máy điện mặt trời*. <https://sesanhpc.vn/d6/vi-VN/news2/Ung-dung-AI-trong-van-hanh-bao-duong-nha-may-dien-mat-troi-1-844-4700>
8. VR Energy. (2023). *Robot vệ sinh pin năng lượng mặt trời*. <https://vrenergy.vn/robot-ve-sinh-pin-nang-luong-mat-troi/>

Application of artificial intelligence in monitoring, diagnosis and maintenance of solar power systems

Ho Xuan Truong^{1*}

*Faculty of Engineering, Dong Nai Technology University, Dong Nai Province, Viet Nam

*hoxuantruong@dntu.edu.vn

Abstract In the context of renewable energy playing an increasingly important role, solar power systems must be effectively monitored and maintained to ensure stable operation and optimized performance. This paper presents an overview and proposes a model for applying Artificial Intelligence (AI) to the monitoring, diagnosis, and maintenance of solar power systems, focusing on its ability to predict and analyze real-time data and automate the operation process. By integrating advanced AI techniques such as machine learning, deep learning, computer vision, and predictive maintenance, the model not only helps to detect abnormalities early but also optimizes maintenance schedules and increases system lifespan. The model is also designed to suit the deployment conditions in Viet Nam, including IoT solutions, Edge Computing, communication connections, and visual data display systems. The expected results include reduced operating costs, increased system performance, and improved reliability of solar energy management.

Keywords Artificial intelligence (AI); solar power systems; monitoring and diagnostics; predictive maintenance; machine learning and deep learning.