

Nghiên cứu các phương pháp tiên tiến phát hiện hư hỏng của hệ thống pin năng lượng mặt trời và đề xuất sử dụng tại Việt Nam

Research advanced methods to detect defects in solar energy systems and propose use in Vietnam

> ĐÀO CHÍ HIẾU¹, LÊ BÁ DANH^{2,*}, KHÚC ĐĂNG TÙNG²

¹Khoa XDDD và CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Tác giả liên hệ: Email: danhlb@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày tổng quan về các công nghệ tiên tiến đang được nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới vào công tác quan trắc, phát hiện hư hỏng trong hệ thống pin năng lượng mặt trời. Các dự án pin năng lượng mặt trời thường có số lượng tấm pin rất lớn. Việc thu thập dữ liệu, tìm kiếm hư hỏng với các phương pháp thủ công truyền thống tốn rất nhiều thời gian và công sức. Do tính chất làm việc đặc thù của hệ thống pin năng lượng mặt trời, các công nghệ sử dụng kỹ thuật xử lý hình ảnh thông qua ảnh hồng ngoại và phát quang điện đã được nghiên cứu ứng dụng. Công nghệ này cho phép xử lý có hiệu quả các số liệu và dự báo khá chính xác về các hư hỏng của các tấm pin. Bên cạnh đó, việc tích hợp trí tuệ nhân tạo cũng được sử dụng để tự động phát hiện hư hỏng trong các hình ảnh thu được. Các phương pháp được trình bày cho thấy tiềm năng ứng dụng, tính khả thi về mặt kinh tế và kỹ thuật đối với hiện trạng các dự án điện mặt trời tại Việt Nam.

Từ khóa: Phát hiện hư hỏng; học sâu; quan trắc thông minh; hư hỏng hệ thống quang điện.

ABSTRACT

This paper presents an overview of advanced technologies being researched and applied, as well as monitoring and detecting defects in solar energy systems. Solar energy projects often have a very large number of panels. Collecting data and searching for damage with traditional manual methods takes a lot of time and effort. Due to the specific working properties of solar power systems, technologies using infrared imaging and electroluminescence techniques have been researched and applied, showing strong capabilities for collecting data. In addition, artificial intelligence integration is also used to automatically detect damage in the acquired images. The presented methods show potential application, economic feasibility and technical feasibility for the current status of Solar energy projects in Vietnam.

Keywords: Fault detection; deep learning; smart monitoring; photovoltaic faults.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với những tiềm năng lớn từ điều kiện tự nhiên cùng với các cơ chế khuyến khích đầu tư, phát triển về đất đai, hỗ trợ nguồn vốn và thuế cùng với việc đảm bảo mua điện mặt trời sản xuất theo mức giá cố định, hàng loạt các công trình trang trại điện mặt trời với công suất lớn đã được xây dựng ở nước ta [1]. Hiện nay, Việt Nam đã lọt vào top 10 thế giới và đứng đầu Đông Nam Á về công suất sản xuất điện mặt trời. Tính đến năm 2020, tổng công suất điện mặt trời của Việt Nam đạt vào khoảng 16.660 MW chiếm khoảng 25% tổng công suất lắp đặt nguồn của hệ thống điện quốc gia. Trong đó, có gần 9.300 MWp điện mặt trời trên mái với hơn 100.000 công trình đã được đấu nối vào hệ thống điện [2].

Các dự án điện mặt trời thường có chi phí đầu tư lớn, công nghệ hiện đại, do đó việc kiểm tra đánh giá chất lượng của các tấm pin là

hết sức cần thiết. Tuy nhiên, với các trang trại điện mặt trời có công suất lớn, số lượng tấm pin lên tới hàng chục nghìn, việc kiểm tra đánh giá hư hỏng theo phương pháp truyền thống sử dụng công nhân đi kiểm tra từng tấm pin sẽ rất mất thời gian và gặp nhiều khó khăn, có thể kéo dài tới hàng tháng. Điều này dẫn đến hao phí không hề nhỏ về thời gian và nhân lực, dẫn đến sai số lớn và hiệu suất không cao trong quá trình kiểm tra đánh giá. Do một số hạn chế về mặt công nghệ và kỹ thuật nên việc quan trắc, đánh giá hư hỏng của các trang trại điện mặt trời ở trong nước vẫn đang còn phụ thuộc vào các phương pháp truyền thống khá nhiều.

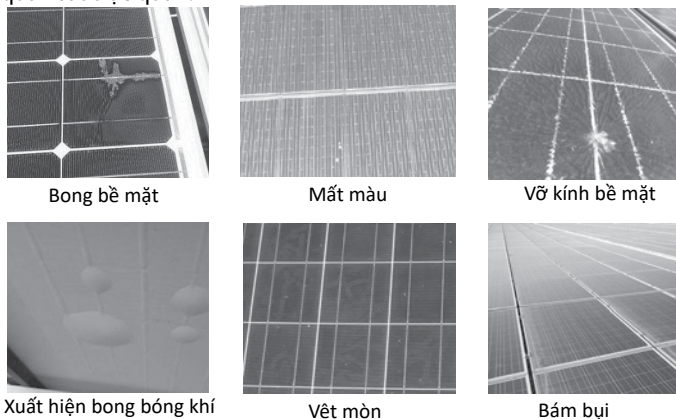
Xuất phát từ thực tế trên, việc nghiên cứu tìm hiểu các phương pháp hiện đại trong việc quan trắc xác định hư hỏng của hệ thống pin năng lượng mặt trời ứng dụng trong điều kiện Việt Nam là hết sức cần thiết. Nội dung đầu tiên của nghiên cứu sẽ đi vào tìm hiểu

các dạng hư hỏng thường xảy ra đối với một hệ pin năng lượng mặt trời. Sau đó, giới thiệu các phương pháp thu thập dữ liệu trong quan trắc sử dụng công nghệ hình ảnh để xác định hư hỏng của pin năng lượng mặt trời. Các nghiên cứu sử dụng trí tuệ nhân tạo để tự động phát hiện hư hỏng của hệ pin mặt trời được trình bày ở nội dung tiếp theo. Trong đó, nghiên cứu đã thực hiện một ví dụ về xác định hư hỏng tấm pin bằng phương pháp trí tuệ nhân tạo. Kết quả nghiên cứu được đánh giá để tìm ra các ưu, nhược điểm từ đó để xuất phương pháp tối ưu sử dụng tại Việt Nam.

2. NHỮNG LOẠI HƯ HỎNG TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

2.1. Suy thoái quang học

Suy thoái quang học là vấn đề thường xuất hiện trong các hệ thống pin năng lượng mặt trời. Hiện tượng này xảy ra do sự tiếp xúc với ánh nắng mặt trời trong thời gian dài khiến nhiệt độ và độ ẩm trên bề mặt các tấm pin quang điện tăng cao, dẫn đến bề mặt các tấm pin hư hại theo thời gian [3]. Hư hỏng này thường có thể được phát hiện bằng các kiểm tra trực quan trước khi xảy ra bất kỳ tổn thất đáng kể nào về sản lượng điện của hệ thống hoặc xảy ra các vấn đề về rủi ro an toàn [4]. Các vấn đề về suy thoái quang học có thể nhận thấy như việc bong ra của các chất bao bọc khỏi kính hoặc các tấm nền, việc xuất hiện các bong bóng do hình thành khí trong quá trình đóng gói, sự đổi màu của chất đóng gói và vỡ bề mặt thủy tinh ở giai đoạn đầu trước khi một tấm pin bị hư hại. Các vấn đề về suy thoái quang học có thể bị đẩy nhanh bởi các yếu tố bên trong, như chất lượng bao bọc thấp và độ cân kém trong quá trình chế tạo, khiến một tấm pin dễ bị ảnh hưởng bởi các yếu tố bên ngoài như biến đổi nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ UV và ứng suất cơ học. Loại hư hỏng này ảnh hưởng đến đặc tính quang học của tấm pin năng lượng mặt trời, dẫn đến sự phản xạ hoặc hấp thụ quang học không còn được như mong muốn, khiến mất mát dòng điện được tạo ra, do đó ảnh hưởng đến công suất đầu ra. Sự hình thành của bụi bẩn trên bề mặt tấm pin cũng làm giảm sự truyền bức xạ và có thể dẫn đến hỏng lớp phủ chống phản xạ, gây giảm công suất. Hình 1 thể hiện các hư hỏng về suy thoái quang học có thể dễ dàng nhận thấy bằng các quan sát trực quan.



Hình 1. Các hư hỏng suy thoái quang học trên hệ thống năng lượng mặt trời

2.2. Mất kết nối dòng điện

Sự mất kết nối dòng điện xảy ra khi một tế bào pin quang điện không thể tạo ra dòng điện giống như dòng điện trong một chuỗi tấm pin. Ngoài việc do bị bóng râm che phủ, những hư hỏng này thường không thể phát hiện được bằng cách kiểm tra trực quan và khi chúng đã thể hiện rõ, tổn thất điện năng và sự phá hủy do nhiệt của tấm pin mặt trời đã trở nên nghiêm trọng, gây ra rủi ro cho toàn bộ hệ thống quang năng. Các kỹ thuật hình ảnh hồng ngoại và phát quang điện được trình bày ở phần sau có thể được sử dụng để phát

hiện các hư hỏng liên quan đến mất kết nối dòng điện này. Một vài yếu tố bên trong gây ra sự mất kết nối dòng điện có thể kể đến như xuất hiện nứt trong các tấm pin, đứt ở phần sườn nối các tấm pin, mối hàn kém chất lượng và chập điện, trong khi đó, các yếu tố tác động bên ngoài bao gồm bóng râm của vật thể xung quanh che phủ hoặc bụi bẩn trên bề mặt tấm pin gây ra.

Độ ẩm cũng khiến cho các tấm pin bị ăn mòn dẫn đến làm giảm khả năng dẫn điện của vật liệu. Khi các kết nối kim loại trong một tấm pin quang điện bị ăn mòn, khiến dòng điện bị rò rỉ và suy giảm hiệu suất, ảnh hưởng đến độ bám dính giữa khung kim loại và tấm pin [5]. Các liên kết bị hỏng, có thể kể đến bao gồm các tấm pin hoặc dây dẫn bị ngắt kết nối, sườn liên kết hoặc thanh cái bị hỏng hoặc xuống cấp, có thể do liên kết hàn kém chất lượng hoặc ứng suất xảy ra trong quá trình vận chuyển và lắp đặt, các điểm nóng xuất hiện, luân chuyển nhiệt trong các tấm pin, hoặc tải trọng cơ học do gió bão gây ra [6]. Các liên kết bị hư hỏng này dẫn đến tăng điện trở và có thể xảy ra đoản mạch (short circuit - SC) hoặc hở mạch (open circuit - OC) trong các tấm pin năng lượng mặt trời.

Các dạng vết nứt xảy ra trên tấm pin năng lượng mặt trời cũng là nguyên nhân gây ra tổn thất điện năng. Trên thực tế, sự xuất hiện của vết nứt không hẳn là nguyên nhân dẫn đến việc mất điện hoặc xuất hiện các hình thái nhiệt bất thường [7]. Tuy nhiên, các vết nứt lại làm tăng nguy cơ xảy ra khi vận hành thực tế tại hiện trường, phải tiếp xúc liên tục với các ứng suất cơ nhiệt. Các vết nứt nhỏ theo thời gian có thể phát triển và mở rộng, cuối cùng dẫn đến sự cô lập các bộ phận bị nứt và các vùng trong tấm pin không hoạt động gây ra tổn thất điện năng nghiêm trọng.

Đối với bóng râm, bao gồm bóng tĩnh, do các vật thể xung quanh gần khu vực như các tòa nhà hoặc cột chặn hoàn toàn ánh sáng mặt trời chiếu tới các bộ phận trên bề mặt tấm pin và ảnh hưởng đến cả dòng điện và điện áp, hoặc bóng mềm cho phép ánh sáng mặt trời khuếch tán đến các tấm pin quang năng và ảnh hưởng đến dòng điện [8, 9]. Bóng mờ có thể do mây, ô nhiễm trong không khí hoặc các vật thể ở xa tạo bóng đồng đều và giảm sản lượng điện nhưng không gây bất lợi cho hệ thống pin. Bóng râm cũng có ảnh hưởng lớn hơn nhiều đến hiệu suất hệ thống quang năng vì các tấm pin mặt trời bị bóng che phủ hoạt động như một lực cản đối với dòng điện được tạo ra bởi các tế bào không bị che, dẫn đến hiện tượng nóng lên và mất điện nghiêm trọng. Kích thước và vị trí của vùng bóng râm cũng sẽ xác định mức độ mất điện và mức độ nghiêm trọng của hiện tượng xuất hiện điểm nóng. Bóng râm có thể được phát hiện bằng cách kiểm tra trực quan hoặc đo nhiệt độ bức xạ bằng công nghệ chụp ảnh hồng ngoại.

2.3. Các hư hỏng do phần cứng

Các hư hỏng do phần cứng kể đến các lỗi không thể phân loại chính xác vào hư hỏng suy thoái quang học hay mất liên kết dòng điện, và chủ yếu liên quan đến hư hỏng trong phần cứng thiết bị điện của hệ thống năng lượng mặt trời. Quan trọng nhất là các đứt rẽ nhánh hở mạch hoặc ngắn mạch và các chuỗi pin quang điện bị hở mạch hoặc ngắn mạch. Đứt rẽ nhánh trong hệ thống pin năng lượng mặt trời là thành phần quan trọng để cải thiện độ tin cậy hệ thống bằng cách bảo vệ khỏi các điểm nóng và làm giảm tổn thất do bóng râm gây ra [10]. Một đứt rẽ nhánh trong trường hợp ngắn mạch sẽ chỉ hoạt động như một dây dẫn, loại bỏ các tấm pin mặt trời và năng lượng mà chúng tạo ra từ mạch điện. Điều này gây ra hiện tượng nóng lên trong một chuỗi con các tấm pin liên quan và có thể dễ dàng được xác định bằng cách kiểm tra nhiệt độ trong quá trình hoạt động. Đứt rẽ nhánh trong mạch hở, tương đương với việc không có đứt rẽ nhánh, khó xác định hơn vì nó chỉ có thể được phát hiện khi đã xảy ra các hư hỏng nghiêm trọng. Khi đứt rẽ nhánh không thể bỏ qua chuỗi pin có dòng điện không khớp, có thể dẫn

đến một điểm nóng, trong trường hợp nghiêm trọng, mô-đun pin này có thể bị hỏng vĩnh viễn, gây mất điện và các vấn đề về an toàn. Mô-đun hoạt động ở chế độ mạch hở hoặc mạch ngắn cũng có thể là kết quả của việc mô-đun được cài đặt sai. Có nhiều lỗi có thể mắc phải trong quá trình lắp đặt vật lý các thành phần của một hệ thống năng lượng mặt trời, như hệ thống dây điện kém, không được nối đất hoặc chống sét, biến tần và thông gió mô-đun không đủ. Đo nhiệt độ hồng ngoại là một công cụ quan trọng để phát hiện hầu hết các lỗi này, nguyên nhân gây ra sự chênh lệch nhiệt độ giữa các tế bào hoặc chuỗi con trong hệ thống năng lượng mặt trời hoặc làm nóng quá mức các thành phần hệ thống như điốt rẽ nhánh hoặc hệ thống dây điện. Tuy nhiên, một số lỗi có thể khó phát hiện hơn nếu không có các kiểm tra kỹ hơn về điện và nhiệt.

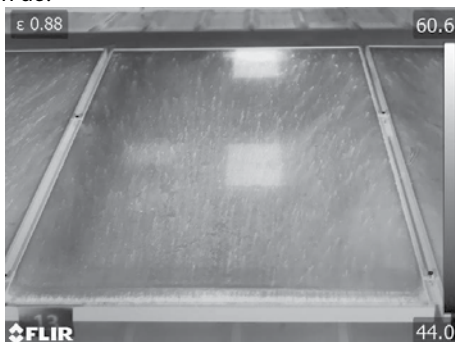
Sự suy giảm hiệu suất do điện thế (Potential induced degradation - PID) cũng là một hư hỏng được phân vào loại này để cập đến sự giảm dần hiệu suất trong mô-đun pin quang điện [11]. Trong hệ thống pin năng lượng mặt trời nối lưới, các tấm pin quang điện thường được mắc nối tiếp để tạo ra điện áp đầu ra trong khi khung của các mô-đun được nối đất vì lý do an toàn. Điều này có thể dẫn đến sự chênh lệch điện thế giữa các tấm pin mặt trời và khung các mô-đun pin, gây ra dòng điện từ khung mô-đun đến tấm pin hoặc ngược lại, tùy thuộc vào vị trí của mô-đun trong chuỗi mô-đun, dẫn đến hiện tượng suy giảm hiệu suất do điện thế. Các ô bị ảnh hưởng bởi PID thường có xu hướng nằm gần khung mô-đun và có nhiệt độ cao hơn các ô không bị ảnh hưởng, do đó các mô-đun bị ảnh hưởng bởi PID có thể được xác định bằng kỹ thuật chụp ảnh hồng ngoại. Hình ảnh điện phát quang (EL) cũng được coi là một công cụ hiệu quả để xác định PID các mô-đun bị ảnh hưởng. Các tấm bị ảnh hưởng phát ra tín hiệu phát quang điện yếu hơn và xuất hiện các vùng tối trong hình ảnh, điều này tạo ra một mẫu có thể nhận dạng tương tự như trong hình ảnh hồng ngoại

3. CÁC CÔNG NGHỆ QUAN TRẮC HỆ PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI SỬ DỤNG HÌNH ẢNH

3.1. Các công nghệ hình ảnh trong quan trắc

3.1.1. Công nghệ chụp ảnh hồng ngoại

Công nghệ chụp ảnh hồng ngoại là một kỹ thuật kiểm tra không phá hủy mà qua đó hệ thống năng lượng cần quan trắc có thể được thử nghiệm nhanh chóng và hiệu quả, không gây phá hủy cấu trúc hoặc ảnh hưởng tới các đặc tính vật lý của hệ thống [12]. Nói cách khác, công nghệ ảnh hồng ngoại không yêu cầu các thao tác phải trực tiếp tiếp xúc với thành phần hệ thống cần kiểm tra, vì công nghệ này chỉ phụ thuộc vào việc phát hiện các bức xạ phát ra từ thành phần đó.



Hình 2. Hình ảnh tấm pin quang điện được chụp bằng phương pháp hình ảnh hồng ngoại

Hiện nay, nhu cầu sử dụng năng lượng tái tạo không ngừng gia tăng, các trang trại điện năng lượng mặt trời theo đó liên tục được xây dựng, mỗi trang trại này có sức chứa lên tới hàng nghìn tấm pin trải dài trên một diện tích lớn. Trong quá trình vận hành một trang

trại mặt trời, đặc biệt là giai đoạn cần tiến hành quan trắc, kiểm tra hư hỏng của hệ thống để bảo trì rất phức tạp, do có hệ thống lớn cộng với nhiều dạng hư hỏng, với các biểu hiện khác nhau, có thể xảy ra trên các thành phần của hệ thống. Vì vậy, việc áp dụng các phương pháp để phát hiện các hư hỏng một cách dễ dàng, nhanh chóng và tiết kiệm là một vấn đề quan trọng. Hư hỏng trong hệ thống năng lượng mặt trời tuy không dễ nhìn bằng mắt thường, nhưng có thể dễ dàng phát hiện dưới ảnh chụp bước xạ hồng ngoại, khi đa phần các hư hỏng trong hệ thống này đều sản sinh ra một lượng nhiệt lớn. Phương pháp quan trắc bằng công nghệ ảnh hồng ngoại do đó được đánh giá là kỹ thuật phù hợp để phát hiện hư hỏng trong hệ thống năng lượng mặt trời. Bảng 1 trình bày các hư hỏng có thể được phát hiện khi sử dụng công nghệ ảnh hồng ngoại [13].

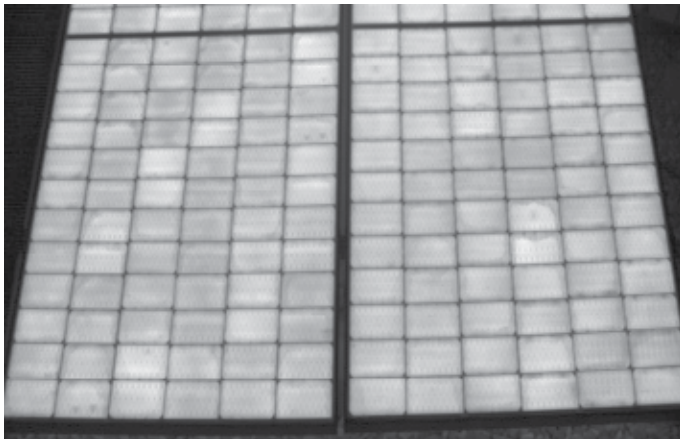
Trường hợp	Mô tả	Lý do có thể xảy ra
	Một mô-đun nóng hơn các mô-đun khác	Mô-đun bị hở mạch (có thể không kết nối với hệ thống)
	Một hàng (chuỗi con) nóng hơn các hàng khác cùng mô-đun	Xảy ra ngắn mạch hoặc hở mạch trên chuỗi con
	Một vài tấm pin đơn nóng hơn phần còn lại.	Toàn bộ mô-đun bị ngắn mạch - Các đi-ốt rẽ nhánh bị ngắn mạch. - Kết nối kết bị nối sai.
	Một vài tấm pin đơn nóng hơn phần còn lại. Những khu vực gần phần rìa khung nóng hơn phần ở giữa	Xuất hiện các điện trở lớn gây ra bởi sự suy giảm điện thế cảm ứng và/hoặc sự phân cực
	Một tấm pin nóng hơn rõ rệt so với xung quanh.	- Do bóng che - Tấm pin bị hư hại - Tấm pin bị bong lớp bề mặt
	Một phần tấm pin nóng hơn xung quanh	- Tấm pin bị hỏng - Kết nối giữa các tấm pin bị ngắt kết nối
	Nóng tại chỉ một điểm.	- Hiện vật trên bề mặt pin
	Một chuỗi con nóng hơn đáng kể so với các phần khác dù cùng bị bóng râm che phủ.	- Chuỗi con bị thiếu đi-ốt rẽ nhánh hoặc hở mạch

3.1.1. Công nghệ hình ảnh phát quang

Bên cạnh công nghệ ảnh chụp hồng ngoại, công nghệ hình ảnh điện phát quang cũng được sử dụng để phát hiện các khuyết tật tiềm ẩn bên trong hệ thống năng lượng mặt trời. Sự phát quang là

khả năng của vật liệu phát ra bức xạ điện từ một cách tự nhiên sau khi hấp thụ năng lượng ở nhiều dạng khác nhau [14, 15]. Những kỹ thuật này có thể cung cấp các thông tin được phân giải theo không gian bao gồm vết nứt, hiệu ứng điện trở nổi tiếp và hư hỏng của diốt rơ nhánh. Tuy nhiên, sự phát quang vật thể phát ra thường thấp hơn đáng kể so với ánh sáng tự nhiên, khiến các kỹ thuật này thường được sử dụng cho các đánh giá trong nhà. Việc áp dụng kỹ thuật này để kiểm tra cho các hệ thống ngoài trời do đó đặt ra những thách thức đáng kể.

Kỹ thuật chụp ảnh phát quang điện được thực hiện bằng cách cho một dòng điện ngược đi qua các tế bào quang điện, xảy ra hiện tượng phát xạ ánh sáng có thể nhìn thấy được trong điều kiện ánh sáng yếu (thường được áp dụng vào ban đêm) bằng máy ảnh EL (Electroluminescence) chuyên dụng. Hình ảnh của các tấm pin mặt trời phát quang được máy ảnh chụp lại (Hình 3) cho phép nhìn rõ các vùng tấm pin tạo ra năng lượng (vùng trắng, xám) và các vùng không hoạt động (vùng xám đậm, đen, vết nứt, khuyết tật). Các hư hỏng có thể được phát hiện bằng công nghệ này có thể kể đến như vết nứt, khuyết tật hàn, PID, diốt rơ nhánh lỗi, tấm pin không hoạt động,...



Hình 3. Hình ảnh tấm pin quang điện được chụp bằng phương pháp hình ảnh điện phát quang [16].

3.2. Ứng dụng trí thông minh nhân tạo trong quan trắc

3.2.1. Các nghiên cứu ứng dụng học máy

Trong những năm gần đây, học máy trở thành một lĩnh vực được quan tâm sâu sắc, kéo theo một loạt những nghiên cứu ứng dụng để phát hiện hư hỏng trong các hệ thống năng lượng mặt trời một cách tự động. Học máy là các kỹ thuật có thể cung cấp cho máy tính khả năng học hỏi tự động từ kinh nghiệm (tức là dữ liệu có trong cơ sở dữ liệu) mà không cần con người lập trình các bước tuần tự.

Một trong những công bố đầu tiên được các tác giả phát triển một phương pháp học tập để chuẩn đoán hệ thống năng lượng mặt trời được giới thiệu vào năm 2003 [17]. Phương pháp đề xuất sử dụng bộ cơ sở dữ liệu tiêu chí chuẩn đoán để phân tích dữ liệu thu được từ hệ thống năng lượng mặt trời, qua đó kiểm tra hư hỏng do bóng râm xuất hiện trên hệ thống và đưa ra lời khuyên để tiến hành bảo trì hệ thống. Các phương pháp được sử dụng trong giai đoạn này tập trung ứng dụng các thuật toán học máy phổ biến lúc bấy giờ như mạng nơ-ron nhân tạo (ANN - artificial neural network), SVM - support vector machine, kNN - k-Nearest Neighbors [18-20]. Thêm nữa, các dữ liệu được sử dụng làm đầu vào để mô hình học máy học trong các nghiên cứu này đa phần là các dữ liệu vectơ một chiều, được thu thập từ các cảm biến, hoặc các đánh giá của chuyên gia, việc ứng dụng hình ảnh hồng ngoại hay ảnh phát quang vẫn chưa được thực hiện.

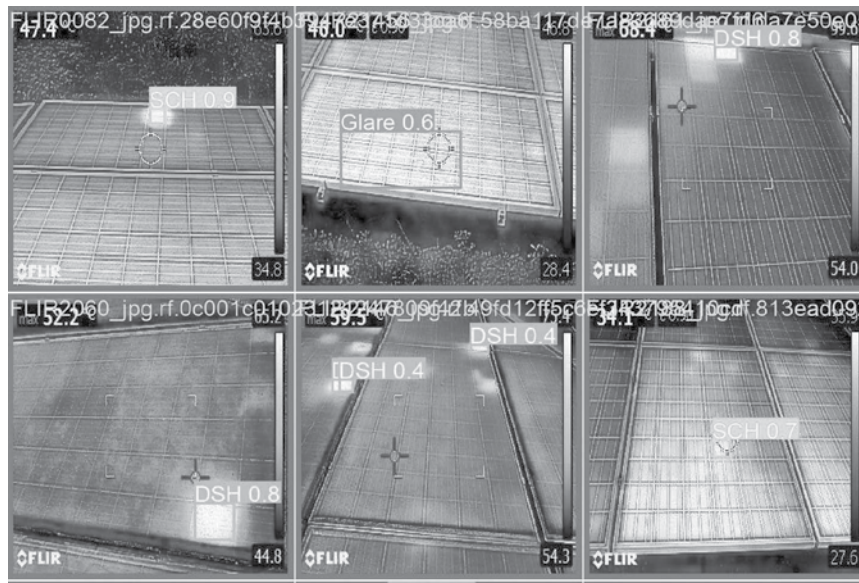
Tuy đạt được các kết quả khả quan nhưng các học máy cũng thể hiện một số nhược điểm khó khắc phục. Kích thước của bộ dữ liệu cần sử dụng trong các nghiên cứu này để đạt được độ chính xác cao gây ra những hạn chế về chi phí tính toán, và khả năng thực hiện phương pháp ngoài thực tế. Các phương pháp máy học yêu cầu phải có một lượng dữ liệu vô cùng lớn, bao gồm cả dữ liệu không hư hỏng và dữ liệu hư hỏng để mô hình có thể phát hiện chính xác. Cộng thêm việc một trang trại năng lượng mặt trời có số lượng rất lớn tấm pin, việc phải bố trí thu thập và xử lý một lượng lớn các dữ liệu liên tục để kịp thời phát hiện và định vị vị trí hư hỏng cho thấy một thách thức rất lớn.

3.2.1. Các nghiên cứu ứng dụng học sâu

Là một bước cải tiến của học máy, các mô hình học sâu được đề xuất để giải quyết các hạn chế trước đó. Với việc bổ sung các lớp tích chập nhằm trích xuất các đặc trưng có trong một hình ảnh, các mô hình học sâu sử dụng dữ liệu đầu vào là hình ảnh liên tục được nghiên cứu và áp dụng. Các thuật toán học sâu như mạng nơ-ron tích chập sâu (DCNN - Deep Convolutional neural network), mạng đối nghịch tạo sinh (GAN - generative adversarial network) và GAN tích chập sâu đã thể hiện tiềm năng của chúng trong việc nhận dạng và phân loại hình ảnh [21, 22]. Vì những ưu điểm của các mô hình này nên nhiều nghiên cứu đã được tiến hành nhằm tự động hóa quá trình phát hiện hư hỏng của hệ thống năng lượng mặt trời. Việc ứng dụng các hình ảnh hồng ngoại và hình ảnh phát quang theo đó cũng được đưa vào nghiên cứu quan trắc phát hiện hư hỏng trong hệ thống năng lượng mặt trời.

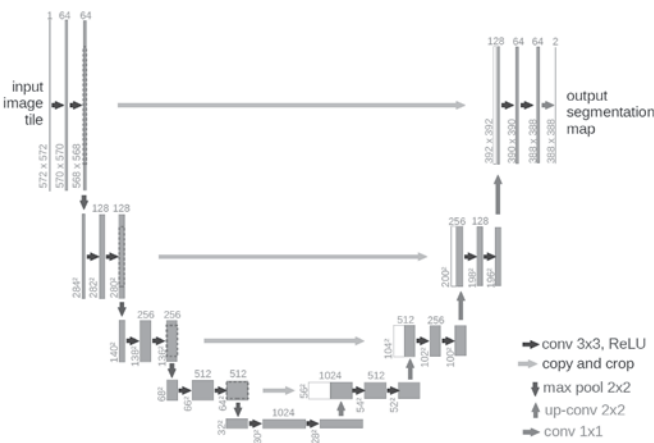
Việc ứng dụng học sâu trong việc phát hiện hư hỏng, định vị và phân loại trong hệ thống năng lượng mặt trời đã được giới thiệu lần đầu vào năm 2018. Theo sau đó, một loạt các nghiên cứu nhằm áp dụng và cải tiến các mô hình học sâu khác nhau đã được thực hiện và đạt được các kết quả khả quan. Các nghiên cứu ở giai đoạn này tập trung vào áp dụng các mô hình học sâu với kiến trúc lõi là mô hình tích chập (Convolution neural network - CNN), các mô hình được phát triển dựa theo đó như VGG-16, ResNet, DCNN được đưa vào áp dụng nhằm phát hiện các hư hỏng như bong tách bề mặt, mất màu, bóng râm che phủ, nứt hoặc bụi bẩn,... [23-25]. Độ chính xác trung bình cho các hư hỏng khác nhau dao động trong khoảng từ 93,02% đến 99,94%. Ở giai đoạn này, tuy các nghiên cứu đã đạt được độ chính xác đáng kể, tuy nhiên phương pháp lại đòi hỏi một lượng lớn dữ liệu để huấn luyện, thời gian huấn luyện lâu. Thêm nữa, mức độ phát hiện hư hỏng giai đoạn này chỉ dừng lại ở hình ảnh đưa vào, mô hình không thể phát hiện được từng phần trong hình ảnh nếu không kết hợp thêm các bước xử lý khác.

Thời gian gần đây, với việc các nghiên cứu trí thông minh nhân tạo đang bùng nổ hơn bao giờ hết, các mô hình học sâu liên tục được giới thiệu, cập nhật từng ngày. Nằm trong một nhánh của các mô hình học sâu kinh điển, YOLO (you only look once) là mô hình nổi tiếng nhất, được phát triển liên tục với các phiên bản cải tiến không ngừng [26]. Điểm nổi bật của mô hình YOLO so với các mô hình học sâu lúc bấy giờ là việc dữ liệu hình ảnh chỉ cần đưa vào một lần duy nhất, mô hình có thể phát hiện tất cả các vật thể cần quan tâm có trong hình ảnh đấy, phụ thuộc và nhu cầu của người dùng. Khả năng này thực hiện được nhờ vào cấu trúc phức tạp của mô hình khi ngoài cấu trúc chính của một mạng tích chập sâu, YOLO còn tích hợp các thuật toán để khoanh vùng và đánh giá đối tượng. Do các ưu điểm về khả năng phát hiện trên hình ảnh, họ mô hình YOLO thể hiện khả năng phát hiện hư hỏng mạnh mẽ, khi có thể phát hiện tốt các hư hỏng với dữ liệu ảnh chụp thông thường cũng như ảnh hồng ngoại, hoặc phát quang điện (Hình 5). Một điểm mạnh nữa của mô hình YOLO là tốc độ xử lý dữ liệu của mô hình đủ nhanh để phục vụ cho các thao tác trong thời gian thực.



Hình 4. Kết quả phát hiện hư hỏng tấm pin quang điện của mô hình YOLO bằng hình ảnh hồng ngoại

Tuy khả năng của họ mô hình YOLO là cực kỳ mạnh mẽ trong phát hiện các hư hỏng trên hệ thống năng lượng mặt trời, việc xác định mức độ, khối lượng hư hỏng với mô hình này lại là thách thức lớn. Do đó, một vài nghiên cứu đã chuyển sang sử dụng mô hình U-Net hay các mô hình dựa theo đó, để phát hiện chính xác các vật thể và hư hỏng ở mức độ điểm ảnh. Qua đó tính toán được chính xác khối lượng và vị trí của hư hỏng. U-Net là mô hình được phát triển từ mô hình CNN, mô hình được bổ sung thêm một phần đường sau với các lớp có chức năng ngược lại với phần mạng tích chập ở đầu. Mục đích của phần này để tái tạo lại các đặc trưng hình ảnh đã được trích xuất ở phần đầu tiên, qua đó vẽ lại hình ảnh của các đối tượng cần xác định. Với kiến trúc như vậy, một hình ảnh khi được huấn luyện trong mô hình U-Net bao gồm rất nhiều dữ liệu để mô hình học, tương ứng với từng điểm ảnh của hình ảnh đó. Nhờ vậy, mô hình U-Net có thể phát hiện được các đối tượng ở mức độ điểm ảnh chỉ với một lượng dữ liệu hình ảnh vừa phải.



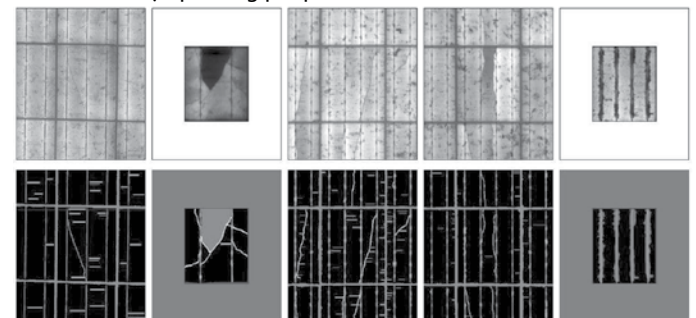
Hình 5. Cấu trúc của mô hình U-Net [27].

Các nghiên cứu ứng dụng mô hình U-Net hay các mô hình dựa và cấu trúc U-Net theo đó cũng liên tục được phát triển nhằm kết hợp với các công nghệ hình ảnh để tự động phát hiện các hư hỏng trên hệ thống năng lượng mặt trời [28, 29]. Một nghiên cứu sử dụng bộ dữ liệu hình ảnh phát quang điện để huấn luyện nhằm phát hiện các hư hỏng như vết nứt hay tấm pin

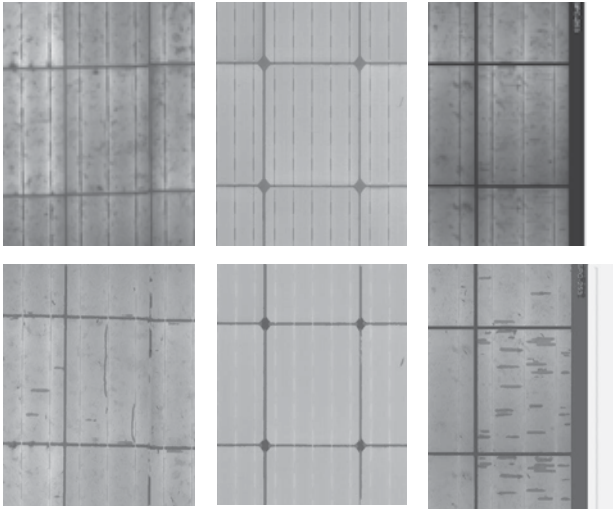
không hoạt động với tỉ lệ không bỏ sót tương ứng là 84% và 69% [30]. Kết quả phát hiện hư hỏng ở mức độ điểm ảnh cho phép các phân tích sâu hơn về định lượng và thống kê mức độ hư hỏng trên toàn bộ hệ thống. Kết quả phát hiện ở mức độ điểm ảnh cũng có thể được áp dụng cho các công nghệ năng lượng tái tạo khác nhờ khả năng chuyển đổi bất kỳ hình ảnh trực quan nào thành mảng số của mô hình mà các kỹ sư và nhà khoa học trong lĩnh vực tương ứng của họ có thể phân tích sâu hơn để giải quyết các câu hỏi và thách thức trong các nghiên cứu khác.

4. ỨNG DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO XÁC ĐỊNH HƯ HỎNG CỦA TẤM PIN

Trong nghiên cứu này, bộ dữ liệu hình ảnh phát quang thực tế được gán nhãn các điểm ảnh được tham khảo từ nghiên cứu của Pratt et al. [31]. Bộ dữ liệu bao gồm 593 hình ảnh phát quang điện của các tấm pin mặt trời, được gán 24 loại nhãn, bao gồm các hư hỏng, các thành phần trong và ngoài tấm pin có trong hình ảnh đấy (Hình 6). Kết quả phát hiện với các mô hình U-Net và DeepLabv3+ khi huấn luyện với bộ dữ liệu này là tương đối khả quan. Hình 7 là kết quả khi đưa bộ dữ liệu được giới thiệu huấn luyện cho một mô hình U-Net cơ bản, trong đó những điểm ảnh màu vàng thể hiện cho phần tấm pin quang năng hoạt động bình thường, phần xanh đậm là của khung thép giữa các mô-đun, màu xanh nhạt là sườn liên kết giữa các tấm pin và màu đỏ thể hiện cho các hư hỏng (vết nứt, vết nhám trên bề mặt pin). Các kết quả cho thấy mô hình có khả năng phát hiện được các hư hỏng, tuy nhiên, để xác định chính xác về khối lượng và loại hư hỏng, cần có các nghiên cứu chuyên sâu hơn để cải thiện phương pháp.



Hình 6. Hình ảnh bộ dữ liệu hình ảnh phát quang điện của tấm pin và các nhãn được gán



Hình 7. Kết quả phát hiện của mô hình U-net trên tấm pin mặt trời với hình ảnh phát quang điện

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã giới thiệu các phương pháp ứng dụng công nghệ hình ảnh và trí thông minh nhân tạo trong việc phát hiện các hư hỏng của hệ thống năng lượng mặt trời. Độ chính xác và tính khả thi của các phương pháp này cho thấy tiềm năng ứng dụng vào các công tác quan trắc ngoài thực tế trên những cánh đồng năng lượng mặt trời với công suất lớn, đặc biệt trong bối cảnh cấp thiết tại Việt Nam. Từ nghiên cứu này có thể thấy rằng, với điều kiện hiện tại trong nước, việc sử dụng các phương pháp trí tuệ nhân tạo để xác định các hư hỏng hệ pin mặt trời phục vụ cho công tác đánh giá chất lượng là phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng, Hoàng Hợp, et al., *Phát triển điện mặt trời tại Việt Nam: hiện trạng và những rào cản*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 3A, 2022.
- [2]. Thị Thu Hương, H., *Giải pháp phát triển điện mặt trời tại Việt Nam*. 2022.
- [3]. Santhakumari, M. and N. Sagar, *A review of the environmental factors degrading the performance of silicon wafer-based photovoltaic modules: Failure detection methods and essential mitigation techniques*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019. **110**: p. 83-100.
- [4]. Tsanakas, J.A., L. Ha, and C. Buerhop, *Faults and infrared thermographic diagnosis in operating c-Si photovoltaic modules: A review of research and future challenges*. Renewable and sustainable energy reviews, 2016. **62**: p. 695-709.
- [5]. Sangpongsanont, Y., et al., *Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation*. Solar Energy, 2020. **205**: p. 409-431.
- [6]. Annigoni, E., et al., *Quantifying and modeling the impact of interconnection failures on the electrical performance of crystalline silicon photovoltaic modules*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2019. **27**(5): p. 424-432.
- [7]. Papargyri, L., et al., *Modelling and experimental investigations of microcracks in crystalline silicon photovoltaics: A review*. Renewable Energy, 2020. **145**: p. 2387-2408.
- [8]. Rana, A.S., M. Nasir, and H.A. Khan, *String level optimisation on grid-tied solar PV systems to reduce partial shading loss*. IET Renewable Power Generation, 2018. **12**(2): p. 143-148.
- [9]. Dolar, A., et al., *Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules*. Energy, 2013. **55**: p. 466-475.
- [10]. Vieira, R.G., et al., *A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules*. Energies, 2020. **13**(10): p. 2472.
- [11]. Luo, W., et al., *Potential-induced degradation in photovoltaic modules: a critical review*. Energy & environmental science, 2017. **10**(1): p. 43-68.
- [12]. Kandeal, A., et al., *Infrared thermography-based condition monitoring of solar photovoltaic systems: A mini review of recent advances*. Solar Energy, 2021. **223**: p. 33-43.
- [13]. Köntges, M., et al., *Review of failures of photovoltaic modules*. 2014.
- [14]. Ishikawa, Y., *Outdoor evaluation of photovoltaic modules using electroluminescence method*. JSAP Review, 2022. **2022**: p. 220412.
- [15]. de Oliveira, A.K.V., et al., *Low-cost aerial electroluminescence (aEL) of PV power plants*. in 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). 2019. IEEE.
- [16]. Molina, P.S. *New electroluminescence tech for daily solar module inspections*. 2022 [cited 2022 September 28]; Available from: <https://www.pv-magazine.com/2022/09/28/new-electroluminescence-tech-for-daily-solar-module-inspections/>.
- [17]. Yagi, Y., et al., *Diagnostic technology and an expert system for photovoltaic systems using the learning method*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2003. **75**(3-4): p. 655-663.
- [18]. Karatepe, E. and T. Hiyama, *Controlling of artificial neural network for fault diagnosis of photovoltaic array*. in 2011 16th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems. 2011. IEEE.
- [19]. Jufri, F.H., S. Oh, and J. Jung, *Development of Photovoltaic abnormal condition detection system using combined regression and Support Vector Machine*. Energy, 2019. **176**: p. 457-467.
- [20]. Harrou, F., B. Taghezouit, and Y. Sun, *Improved \$k\$-NN-based monitoring schemes for detecting faults in PV systems*. IEEE Journal of Photovoltaics, 2019. **9**(3): p. 811-821.
- [21]. Rawat, W. and Z. Wang, *Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review*. Neural computation, 2017. **29**(9): p. 2352-2449.
- [22]. Creswell, A., et al., *Generative adversarial networks: An overview*. IEEE signal processing magazine, 2018. **35**(1): p. 53-65.
- [23]. Li, X., et al., *Deep learning based module defect analysis for large-scale photovoltaic farms*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2018. **34**(1): p. 520-529.
- [24]. Pierdicca, R., et al., *Deep convolutional neural network for automatic detection of damaged photovoltaic cells*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018. **42**: p. 893-900.
- [25]. Chen, Z., et al., *Deep residual network based fault detection and diagnosis of photovoltaic arrays using current-voltage curves and ambient conditions*. Energy Conversion and Management, 2019. **198**: p. 111793.
- [26]. Jiang, P., et al., *A Review of Yolo algorithm developments*. Procedia Computer Science, 2022. **199**: p. 1066-1073.
- [27]. Ronneberger, O., P. Fischer, and T. Brox, *U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*. in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. 2015. Springer.
- [28]. Shen, Y., et al., *Modified U-Net based photovoltaic array extraction from complex scene in aerial infrared thermal imagery*. Solar Energy, 2022. **240**: p. 90-103.
- [29]. Rahman, M.R.U., H. Chen, and W. Xi, *U-Net based defects inspection in photovoltaic electroluminescence images*. in 2019 IEEE International Conference on Big Knowledge (ICBK). 2019. IEEE.
- [30]. Pratt, L., D. Govender, and R. Klein, *Defect detection and quantification in electroluminescence images of solar PV modules using U-net semantic segmentation*. Renewable Energy, 2021. **178**: p. 1211-1222.
- [31]. Pratt, L., J. Mattheus, and R. Klein, *A benchmark dataset for defect detection and classification in electroluminescence images of PV modules using semantic segmentation*. Systems and Soft Computing, 2023. **5**: p. 200048.