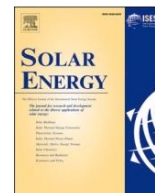


Danh sách nội dung có sẵn tại [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Năng lượng mặt trời

trang chủ tạp chí: [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener)

## Giám sát tình trạng hệ thống quang điện mặt trời dựa trên nhiệt kế hồng ngoại: Một đánh giá nhỏ về những tiến bộ gần đây

AW Kandeal <sup>a,b</sup>, Ông Elkadeem d, f <sup>c</sup>, Amrit Kumar Thakur <sup>\*\*\*</sup>, Gamal B. Abdelaziz <sup>va</sup>,  
Ravishankar Sathyamurthy <sup>sinh</sup>, AE Kabeel <sup>f,g,\*</sup>, a, b, \* Nuo Yang <sup>sinh</sup>, Wellam W. Sharshir

<sup>\*\*\*</sup> Phòng thí nghiệm trọng điểm nhà nước về đốt than, Đại học Khoa học và Công nghệ Hoa Trung, Vũ Hán 430074, Trung Quốc

<sup>b</sup> Khoa Kỹ thuật cơ khí, Khoa Kỹ thuật, Đại học Kafrelsheikh, Kafrelsheikh 33516, Ai Cập

<sup>c</sup> Khoa Kỹ thuật Điện và Máy móc, Khoa Kỹ thuật, Đại học Tanta, Tanta 31521, Ai Cập

<sup>\*\*\*</sup> Khoa Kỹ thuật cơ khí, Viện Kỹ thuật và Công nghệ KPR, Arasur, Coimbatore, Tamil Nadu 641407, Ấn Độ

<sup>va</sup> Khoa Cơ khí, Khoa Công nghệ và Giáo dục, Đại học Suez, Ai Cập

<sup>sinh</sup> Khoa Kỹ thuật Cơ điện, Khoa Kỹ thuật, Đại học Tanta, Tanta, Ai Cập

<sup>\*</sup> Khoa Kỹ thuật, Đại học Khoa học và Công nghệ Delta, Gamasa, Ai Cập

### THÔNG TIN BÀI VIẾT

#### Từ khóa:

Nhiệt độ  
Hồng ngoại

Theo dõi tình trạng

Chẩn đoán

Nhà máy quang điện  
Lỗi quang điện

### TÓM TẮT

Trên toàn cầu, các nhà máy quang điện mặt trời (PV) liên tục tăng, thu hút các nhà nghiên cứu và quản lý Sự quan tâm của các nhà cung cấp và thị trường PV chứng kiến sự cạnh tranh cao. Điều đó đòi hỏi phải nghiên cứu và phát triển tiên tiến về tối ưu hóa độ tin cậy và hiệu quả, phát hiện và chẩn đoán lỗi, và bảo trì các thành phần khác nhau, đặc biệt là các mô-đun PV. Cùng với đó, nhiều công trình và cuộc điều tra kỹ thuật đã được tiến hành thông qua nhiều phương pháp phát hiện dựa trên các thử nghiệm trong nhà hoặc ngoài trời. Cụ thể, nhiệt độ là một chỉ báo phổ biến về tình trạng của bất kỳ thành phần cấu trúc nào vì các thành phần bị lỗi và hư hỏng, và các kết nối điện bị ăn mòn có thể dẫn đến phân phối nhiệt độ bất thường. Do đó, các lỗi như vậy có thể được phát hiện thông qua hình ảnh và phân tích các mẫu phân phối nhiệt độ xác định vị trí bộ phận bị lỗi. Vì vậy, Nhiệt ảnh hồng ngoại (IRTG) đã trở thành một kỹ thuật giám sát tình trạng (CM) được sử dụng rộng rãi; thông qua đó có thể đo nhiệt độ theo thời gian thực. Nó được coi là phương pháp đáng tin cậy, chính xác và kinh tế do sự ra đời của camera IR. IRTG có đặc điểm là kỹ thuật thử nghiệm an toàn và không phá hủy (NDTT); và do đó, nó đã được sử dụng hiệu quả trong việc phát hiện các nhà máy PV ở quy mô nhỏ hoặc lớn. Bản thảo khảo sát này trình bày quan điểm chung về IRTG và tập trung vào việc sử dụng IRTG trong việc giám sát tình trạng của các nhà máy PV, kết hợp những nỗ lực của các nhà nghiên cứu tiên tiến trong lĩnh vực này. Ngoài ra, một số mô hình lỗi phổ biến được phát hiện và phân tích của chúng cũng được minh họa.

### 1. Giới thiệu

Hệ thống giám sát tình trạng (CMS) đã được sử dụng trong nhiều ứng dụng gần đây vì nó cung cấp thông tin hiệu quả về tình trạng sức khỏe của bất kỳ thành phần hệ thống nào. Do đó, loại lỗi và vị trí có thể dễ dàng được phát hiện và việc bảo trì có thể được thực hiện chính xác (Hameed và cộng sự, 2009). Để phát hiện lỗi, các kỹ thuật kiểm tra không phá hủy (NDTT) đã được sử dụng. NDTT được sử dụng để phát hiện tình trạng của các thành phần hệ thống tại sản xuất (Murayama và cộng sự, 1996), vận chuyển, lưu trữ, lắp đặt (D'orazio và cộng sự, 2008; Murayama và cộng sự, 1997) và vận hành (Ogawa và cộng sự, 1999). NDTT được phân loại thành nhiều loại; cụ thể là: thị giác (Allgaier và cộng sự, 1993), bức xạ xuyên thấu (Michaloudaki và cộng sự, 2005; Nagarkar và cộng sự, 2002), từ-điện (Lovejoy, 2012; Udpa và

Moore, 2004), rung động (Birks và cộng sự, 1991; Miller và McIntire, 1987), hóa học/điện hóa (Habib, 2000; 2001), nhiệt/nhiệt ký (Maldague, 2012) và các phương pháp quang học khác (Hung và Ho, 2005).

Kỹ thuật chụp ảnh nhiệt (TG), đặc biệt là chụp ảnh nhiệt hồng ngoại (IRTG), là một NDTT phổ biến đã được xem xét và sử dụng trong nhiều ngành công nghiệp và ứng dụng như mô hình hóa sự thoải mái của con người (Tejedor và cộng sự, 2020), hệ thống năng lượng (Du và cộng sự, 2020), chẩn đoán y tế (Bahramian và Mojra, 2020; Guo và Li, 2019; Polidori và cộng sự, 2018), điện tử/điện (Jadin và Taib, 2012; Jeffali và cộng sự, 2019), hàng không vũ trụ (Ley và Godinez, 2013; Yang và cộng sự, 2013) và xây dựng/xây dựng (Kirimtat và Krejcar, 2018; Kylili và cộng sự, 2014; Lucchi, 2018). Nhìn chung, đây là một kỹ thuật dựa trên bức xạ nhiệt bề mặt uti được biết đến trong việc lập bản đồ các mẫu nhiệt độ bề mặt phát hiện các biến thể không gian của chúng và nêu ra các điểm nóng bất thường (Maldague, 2012). TG là

\* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: [kabeel6f@eng.tanta.edu.eg](mailto:kabeel6f@eng.tanta.edu.eg) (AE Kabeel), [nuo@hust.edu.cn](mailto:nuo@hust.edu.cn) (N. Dương), [sharshir@eng.kfs.edu.eg](mailto:sharshir@eng.kfs.edu.eg) (Tây Nam Sharshir).

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.032> Nhận ngày

13 tháng 1 năm 2021; Nhận dưới dạng đã sửa đổi ngày 9 tháng 5 năm 2021; Chấp nhận ngày 10 tháng 5 năm 2021 Có

sẵn trực tuyến ngày 25 tháng 5 năm 2021

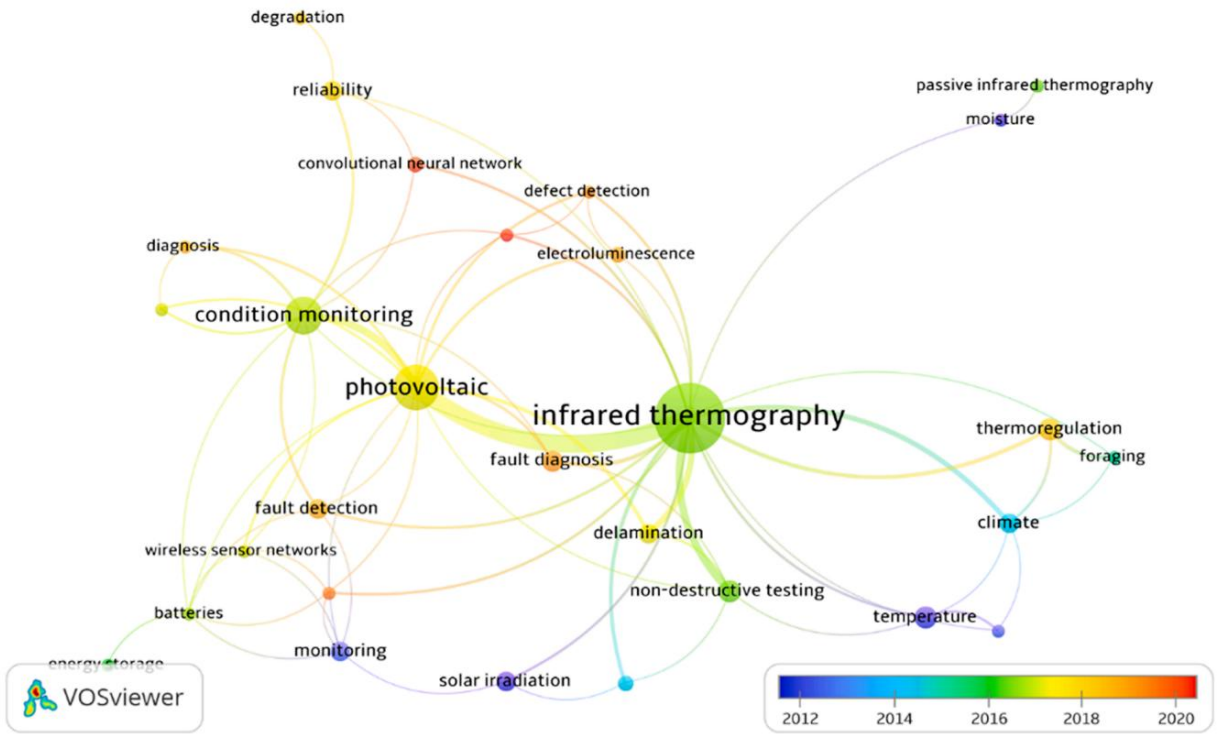
0038-092X/© 2021 Hiệp hội năng lượng mặt trời quốc tế. Xuất bản bởi Elsevier Ltd. Bảo lưu mọi quyền.

Danh pháp	VÀ	Hồng ngoại
BA(T)	<sup>101</sup>	Hằng số khí Boltzmann, (1,38 × 10 <sup>-23</sup> J/K) <sup>23</sup> (Đầu tiên)
C	Lλ(T)	sáng của một vật thể ở nhiệt độ và bước sóng cụ thể, (W/m <sup>2</sup> m)
CM	Máy tính	Học máy NDTT Kỹ thuật
ĐỘ	kiểm tra không phá hủy Quang điện PV	
LÀ	Máy hỗ trợ vector SVM	
VÀ	T	Nhiệt độ tuyệt đối của một vật, (K)
ĐƯỜNG	ĐẠI HỌC	Nhiệt độ
ANH TA	e1	Hệ số phát xạ quang phổ
h	1	Bước sóng, (m)
IV		

được phân loại thành thụ động và chủ động, như minh họa trong [Phần 2](#) trong cho thuê bản thảo.

Gần đây, hệ thống quang điện (PV) đã cạnh tranh và ngày càng tham gia nhiều hơn vào thị trường năng lượng với tư cách là công nghệ năng lượng tái tạo chính ([Aghaei et al., 2020](#); [Kandeal et al., 2020](#)). Trên toàn cầu, thị trường PV chứng kiến sự tăng trưởng 75 GW, đạt công suất 303 GW vào năm 2016, bên cạnh đó giá giảm 80% từ năm 2009 đến năm 2015 xuống dưới 1 USD/Wp ([Gan và Li, 2015](#); [Mellit et al., 2018](#)). Công suất lắp đặt này đã tăng gấp đôi vào năm 2019, chính xác là 627 GW ([Jager-Wal "dau, 2020](#)). Lợi nhuận của hệ thống PV (công suất phát ra) và thời gian hoàn vốn đầu tư về cơ bản phụ thuộc vào tuổi thọ hoạt động và hiệu suất chuyển đổi mance, tức là độ tin cậy của hệ thống. Mặc dù hệ thống PV có hiệu suất chuyển đổi điện thấp, nhưng chúng có chế độ bảo hành dài hạn lên đến 25 năm ([Atsu và cộng sự, 2020](#)). Do đó, cần nỗ lực theo ba cách đồng thời: nâng cao hiệu suất chuyển đổi, giảm thiểu chi phí và phục vụ độ tin cậy bằng cách tránh lỗi. Những lỗi này có thể xảy ra trong quá trình sản xuất, vận chuyển, lắp ráp và vận hành ([Phinikarides và cộng sự, 2014](#); [Tsanakas và cộng sự, 2015b](#)). Có nhiều lỗi khác nhau ảnh hưởng đến hiệu suất của tất cả các thành phần hệ thống PV, chẳng hạn như đường dây-đường dây, mặt đất,

và các lỗi hồ quang có thể gây ra tổn thất năng lượng rất lớn bên cạnh nguy cơ hỏa hoạn ([Alam et al., 2015](#); [Brooks, 2011](#); [Brooks et al., 2015](#); [Falvo và Capparella, 2015](#)). Cùng với đó, xét đến việc không có lỗi sản xuất, các lỗi nên được phát hiện tại thời điểm lắp đặt và các hệ thống nên được định kỳ được kiểm tra kỹ lưỡng trong quá trình vận hành để bảo vệ các thành phần khỏi hư hỏng và giảm thiểu rủi ro ([Falvo và Capparella, 2015](#); [Krueger và Smith, 2003](#); [Tsanakas và cộng sự, 2015a](#)). Các lỗi đang được phát hiện bằng cách so sánh dữ liệu tính toán và đo lường với dữ liệu tham chiếu, trong khi chúng được chẩn đoán để nêu vị trí và loại lỗi ([Al-Sheikh và Moubayed, 2012](#)). Hiện nay, đặc biệt đối với các hệ thống quy mô lớn, việc định vị, phát hiện trực tuyến và chẩn đoán lỗi trong quá trình vận hành tại hiện trường vẫn là một thách thức lớn ([Tsanakas và cộng sự, 2015b](#)). Ngoài ra, việc giám sát và phát hiện liên quan đến kiến trúc PV, đặc biệt là đối với các hệ thống quy mô nhỏ có phân phối theo dõi điểm công suất cực đại ([Grasso et al., 2015](#)). Trong việc phân tích và đặc tính hóa các hệ thống PV, đặc biệt là các mô-đun PV, có thể được thực hiện bằng một số kỹ thuật ([Sinha et al., 2016b](#); [Tina et al., 2016](#)). Đối với việc kiểm tra thông thường, công suất đầu ra giảm hoặc tính chất I-V bất thường đang được đo lường, trong vai trò chỉ ra một lỗi hiện hữu nhưng không thể nêu rõ nguồn lỗi và vị trí. Do đó, bổ sung



Hình 1. Bản đồ sự đồng hiện của các từ khóa trong bối cảnh IRTG-PV.

các phép đo điện riêng biệt, cho từng bảng điều khiển, nên được thực hiện, điều này, thật không may, tốn kém và lãng phí thời gian. Tuy nhiên, IV char acherterization vẫn là một phương pháp phụ trợ quan trọng trong việc cung cấp thông tin có giá trị về mỗi lỗi được phát hiện dựa trên đặc điểm điện của nó và đánh giá ảnh hưởng của nó đến tổn thất điện năng (Fadhel et al., 2019; Tsanakas và cộng sự, 2016). Ngoài ra, như kết luận của (Gallardo-Saavedra và cộng sự, 2020), đặc tính IV có thể là phương pháp phát hiện đầy đủ nhất liên quan đến lỗi sản xuất.

Mặt khác, sự tiến bộ của máy ảnh kỹ thuật số đã dẫn đến sự đơn giản trong chẩn đoán lỗi thông qua các máy dò mảng mặt phẳng tiêu cự không làm mát và các thiết bị ghép nối điện tích; cụ thể là hình ảnh phát quang điện (EL) và nhiệt ảnh hồng ngoại (IRTG) không chỉ phát hiện lỗi mà còn chính xác cũng định vị nó một cách nhanh chóng (Deitsch và cộng sự, 2019; Tsanakas và cộng sự, 2017). Đối với hình ảnh EL, dưới độ lệch thuận, các tổ hợp bức xạ của các hạt mang điện tích bị kích thích được phát hiện và khi cường độ ánh sáng thay đổi theo tỷ lệ với điện áp, các vùng không hoạt động về điện xuất hiện dưới dạng các vùng tối (Djordjevic và cộng sự, 2014; Kontges và cộng sự, 2009). Mặc dù hình ảnh EL có độ lệch tuyến độ chính xác trong việc phát hiện các lỗi khác nhau của hệ thống PV, nó phải đối mặt với nhiều hạn chế thực tế, và do đó, nó bị hạn chế đối với một số lỗi quang học và suy thoái, ví dụ, nắp trước bị vỡ (kính) hoặc tách lớp và cũng phát hiện ngoài trời các nhà máy quy mô lớn (Kontges và cộng sự, 2014). Gần đây, EL im lão hóa đã được sử dụng để phát hiện lỗi nhanh chóng và chính xác ngay cả trong điều kiện ngoài trời bằng cách sử dụng InGaAs không làm mát và InSb làm mát tectors (Johnson và Silverman, 2015; Stoicescu và cộng sự, 2014). Thêm nữa hơn nữa, chẩn đoán lỗi dựa trên IRTG đã chứng minh khả năng cung cấp thông tin chính xác về vị trí lỗi, khắc phục hạn chế hình ảnh EL itations. IRTG là NDTT phụ thuộc cơ bản vào một camera nhiệt thích hợp cung cấp phân phối nhiệt độ thông qua hình ảnh màu giả hai hoặc ba chiều. Một hệ thống PV khỏe mạnh cho thấy sự đồng nhất

phân bố nhiệt độ tự nhiên và ngược lại và do đó, vị trí vật lý chính xác có thể dễ dàng xác định (Maldague, 2001). Đối với các ứng dụng thực địa ngoài trời, các phép đo IRTG được thực hiện dưới điều kiện chiếu sáng ổn định của bầu trời quang đăng hoặc ít nhất là mây không tích có độ che phủ tối đa 2 okta và công suất tối đa. Ngoài ra, chẩn đoán lỗi định lượng có thể được thực hiện thông qua việc đánh giá tổn thất công suất đầu ra dưới dạng nhiệt tản ra. Tóm lại, IRTG là một kỹ thuật được ưa chuộng vì nó có thể được sử dụng mà không cần bất kỳ cảm biến nào và không làm gián đoạn hoạt động của hệ thống PV (Kontges et al., 2014; Tsa nakas và cộng sự, 2015b). Nhiều công trình đã được tiến hành và các ấn phẩm liên quan gần đây đã tăng lên để đánh giá khả năng ứng dụng của IRTG trong việc phát hiện lỗi PV (Herrai và cộng sự, 2020). Điều đó đã được chứng minh, như một đóng góp hiện tại, bằng cách phân tích dữ liệu có sẵn trong cơ sở dữ liệu Scopus bằng phần mềm VOSviewer để tạo và trực quan hóa các mạng lưới thư mục, được hiển thị trong mạng lưới từ khóa giả định (Hình 1) (van Eck và Waltman, 2010). Trong sơ đồ này, mỗi đường kính vòng tròn phản ánh tần suất tồn tại của từ khóa, chiều rộng của các đường liên kết cho biết tần suất các từ khóa được sử dụng cùng nhau và bằng màu cho biết năm xuất bản. Như đã hiển thị, IRTG đã được sử dụng phổ biến trong kỹ thuật chụp ảnh của nhiều ứng dụng và được áp dụng mạnh mẽ trong giám sát tình trạng PV, đặc biệt là từ năm 2016 đến

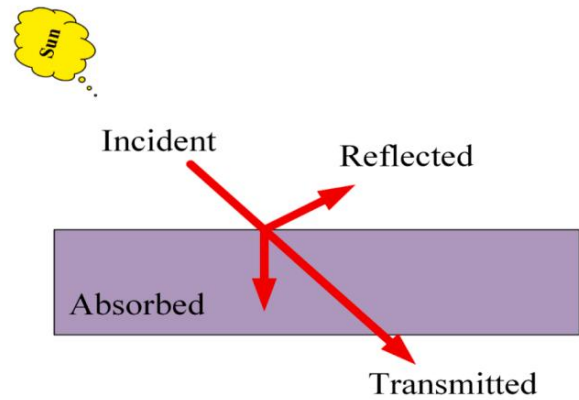
Hiện nay.

Bài báo hiện tại nhằm mục đích giới thiệu việc sử dụng IRTG trong việc phát hiện và chẩn đoán các nhà máy điện mặt trời (hệ thống PV). Một cuộc khảo sát chi tiết về nhiều nghiên cứu và nỗ lực đã được tiến hành gần đây được trình bày với thảo luận đầy đủ. Bản thảo được chia thành một số phần tiếp theo: tions và tiểu mục. [Phần 1](#) là phần giới thiệu về các CMS khác nhau, đặc biệt là NDDT, tầm quan trọng của hệ thống PV, chẩn đoán lỗi hệ thống PV và các tính năng IRTG trong chẩn đoán PV. Trong [Phần 2](#), tổng quan đầy đủ về IRTG bao gồm quan điểm chung, phân loại, ưu điểm và nhược điểm. Ngoài ra, các loại giám sát tình trạng hệ thống PV khác nhau

Các lỗi phát hiện và đo đạc được minh họa trong [Phần 3](#). Cuối cùng, các kết luận chung được tóm tắt trong [Phần 4](#).

## 2. Tổng quan về nhiệt ảnh hồng ngoại

Các phần sau đây giới thiệu tổng quan chung về IRTG,



Hình 2. Các thành phần quang phổ: tới, hấp thụ, phản xạ và truyền qua.

ệt với

phân loại, ưu điểm và nhược điểm, và các cân nhắc về phép đo:

### 2.1. Cơ sở của nhiệt ảnh hồng ngoại (IRTG)

Như đã đề cập trước đó, TG là một NDTT hiệu quả mà hệ thống có thể được thử nghiệm nhanh chóng và tiết kiệm mà không phá hủy sự tích hợp hoặc cấu trúc vật lý của nó. Nói cách khác, TG không yêu cầu tiếp xúc trực tiếp với thành phần được kiểm tra vì nó chỉ phụ thuộc vào việc phát hiện bức xạ phát ra từ thành phần (Ebner và cộng sự, 2013; Papaelias và cộng sự, 2016; Waqar Akram và cộng sự, 2019). Nhìn chung, vật chất hoặc bất kỳ bề mặt nào cũng có thể giải phóng năng lượng dưới dạng sóng điện từ thông qua quá trình bức xạ. Ngoài ra, một vật thể có nhiệt độ lớn hơn 0 K (độ không tuyệt đối = 273 °C) phát ra sóng năng lượng IR được tạo ra thông qua chuyển động của các nguyên tử và phân tử. Hơn nữa, nếu vật thể nhận được năng lượng bên ngoài, bức xạ IR sẽ được phát ra để đạt được sự cân bằng năng lượng; sau đó, nếu không có năng lượng bên ngoài nào nhận được, vật thể sẽ bị làm mát. Về mặt vật lý, bức xạ IR tuân theo cùng các định luật của ánh sáng khả kiến, chẳng hạn như phản xạ, khúc xạ và lan truyền theo đường thẳng trong môi trường đồng nhất (Herraiiz et al., 2018; Gomez et al., 2016; Sigal'es, 2003). Theo Hình 2, tổng độ rọi tới (E<sub>inc</sub>) là tổng của phản xạ (ER

trials (năng lượng), Phương trình (1) (Pavlović và Barbarić, 2013). Giá trị của các thành phần quang phổ này nêu rõ loại vật chất có thể so sánh với ba loại vật chất lý tưởng; cụ thể là: vật thể đen (hấp thụ 100% bức xạ), vật thể phản xạ lý tưởng (phản xạ 100%) và vật thể trong suốt (truyền 100%).

$$L_{\text{đầu}} = L_A + V_A + V_{\text{đầu}} \quad (1)$$

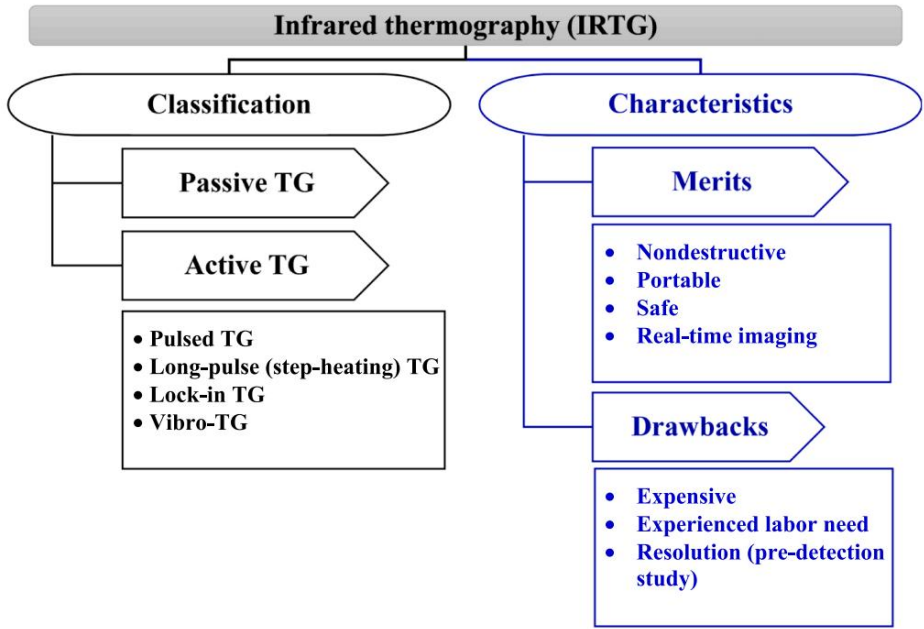
Cụ thể, bức xạ hồng ngoại (IR) là bức xạ điện từ vô hình diation dưới mức năng lượng đó. Để hiểu IRTG, cần xem xét hai khía cạnh. Đầu tiên, năng lượng IR được phát ra từ một vật thể ở các bước sóng trong phạm vi từ 0,7 đến 1000  $\mu\text{m}$  trong thông số kỹ thuật điện từ trung. Thứ hai, TG phụ thuộc vào việc đo nhiệt độ bề mặt và gần bề mặt của vật thể. Do đó, một hệ thống IRTG hoàn chỉnh có thể được định nghĩa là một hệ thống cung cấp hình ảnh IR cho bức xạ IR phát ra, được chuyển đổi thành nhiệt độ biểu kiến (Maldaque, 2001; Wiecek, 2006).

Ngoài ra, mỗi vật thể phát ra bức xạ IR theo nhiệt độ và độ phát xạ của nó. Hệ số phát xạ phổ ( $\epsilon_\lambda$ ) thể hiện khả năng của một vật thể phát ra năng lượng IR so với một vật đen lý tưởng ở cùng nhiệt độ như được đưa ra bởi Công thức (2) và (3); và do đó nó có thể có giá trị nằm trong khoảng từ 0 đến 1 (Becker và Li, 1995). Nó bị ảnh hưởng bởi một số

đo nhiệt độ: nhiệt độ, bước sóng, màu sắc, tình trạng bề mặt và kết cấu của vật liệu.

$$e = \frac{L\lambda(T)}{B\lambda(T)} \quad (2)$$

trong đó  $L(T)$  là độ rọi của vật thể ( $W/m^2 m$ ) tại bề mặt riêng



Hình 3. Tổng quan về IRTG: phân loại và đặc điểm (ưu điểm và nhược điểm).

nhiệt độ và bước sóng, và  $B\lambda(T)$  là độ chói tham chiếu (vật đen) ( $W/m^2 m$ ) ở cùng nhiệt độ và bước sóng, có thể được tính như sau (Xavier Jr và Celaschi, 2012):

$$B\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \tag{3}$$

trong đó  $h$  là hằng số Planck =  $6,67 \times 10^{-34}$  Js,  $c$  là tốc độ ánh sáng =  $3 \times 10^8$  m/s,  $k$  là hằng số khí Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K, và  $\lambda$  là sóng (m).

2.2. Phân loại, ưu điểm và nhược điểm của việc sử dụng IRTG

IRTG có thể được phân loại hoặc tiến hành theo hai cách tiếp cận, như thể hiện trong Hình 3; cụ thể là: IRTG thụ động và chủ động. Cách tiếp cận trước là kỹ thuật không yêu cầu bất kỳ nguồn nhiệt bên ngoài nào và thay vào đó thu thập bức xạ IR của vật thể; trong khi ngược lại, IRTG chủ động cần nguồn nhiệt bên ngoài tạo ra luồng nhiệt bên trong vật thể, làm tăng nhiệt độ của vật thể. IRTG chủ động được chia thành hoặc bao gồm bốn kỹ thuật (quan trọng nhất): xung, xung dài (sưởi ấm theo từng bước), khóa và Vibro- TG. Đầu tiên, TG xung thường được sử dụng vì khả năng ứng dụng dễ dàng và nhanh chóng vì nó phụ thuộc vào việc làm nóng cơ thể thông qua xung nhiệt, có thể sử dụng từ nguồn nhiệt; chẳng hạn như súng sưởi, đèn, đèn nháy, . v.v. và thu thập dữ liệu ở miền thoáng qua (Maldague và cộng sự, 2002). Thứ hai, nếu sử dụng nguồn nhiệt công suất thấp liên tục được áp dụng, thì nó được gọi là TG xung dài (sưởi ấm theo từng bước). Ngược lại với TG sưởi ấm theo từng bước, nó tập trung vào quá trình làm mát (Sinha và cộng sự, 2016a). Đối với TG khóa, vật thể được làm nóng thông qua nhiệt độ dao động.

Trường nhiệt độ và các lỗi bên trong có thể được phát hiện trong trường hợp sóng thay đổi. Nhưng, nó đòi hỏi phải đồng bộ hóa chính xác giữa các tín hiệu đầu vào và đầu ra, tức là tín hiệu nguồn nhiệt và tín hiệu TG, tương ứng (Breitenstein và Sontag, 2019; Wu và Busse, 1998). Cuối cùng, Vibro-TG sử dụng các rung động cơ học được chuyển đổi thành năng lượng nhiệt tạo ra các điểm nóng ở các khu vực có khuyết tật như vết nứt, lỗ rỗng hoặc các khu vực khác (Rantala và cộng sự, 1996).

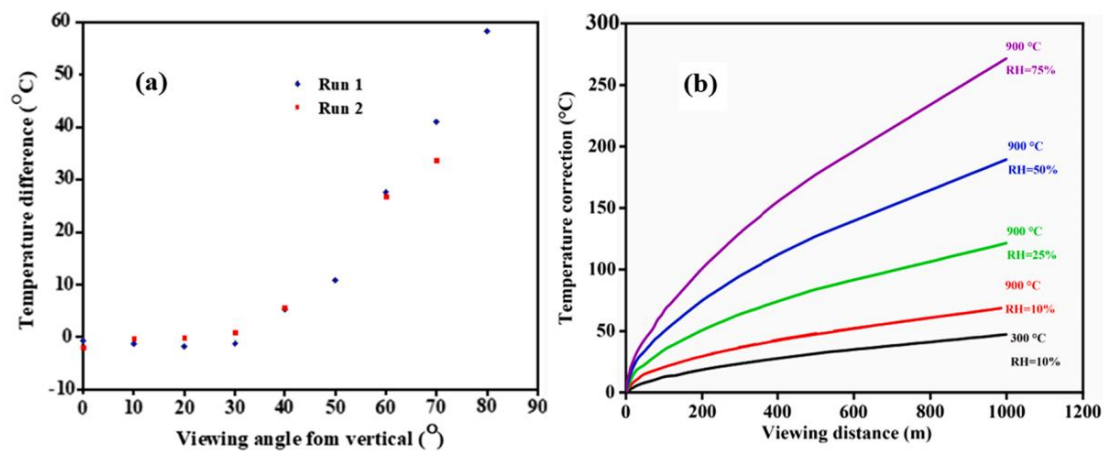
Nhìn chung, IRTG đã được sử dụng trong nhiều ứng dụng do có nhiều ưu điểm (Avdelidis và cộng sự, 2011). Vì quy trình IRTG chỉ yêu cầu camera nhiệt IR và camera thị giác, nên việc phát hiện có thể được thực hiện mà không cần tiếp xúc với vật thể (tức là NDTT), không cần bất kỳ thiết bị đo đặc nặng nào (tức là di động) và không có bất kỳ nguy hiểm nào đối với cả hai

con người và đặc điểm vật lý của các đối tượng (tức là an toàn). Bên cạnh đó, IRTG sở hữu hình ảnh thời gian thực vì hình ảnh được theo dõi cùng lúc với quá trình ghi; và do đó, lỗi dữ liệu được giảm thiểu.

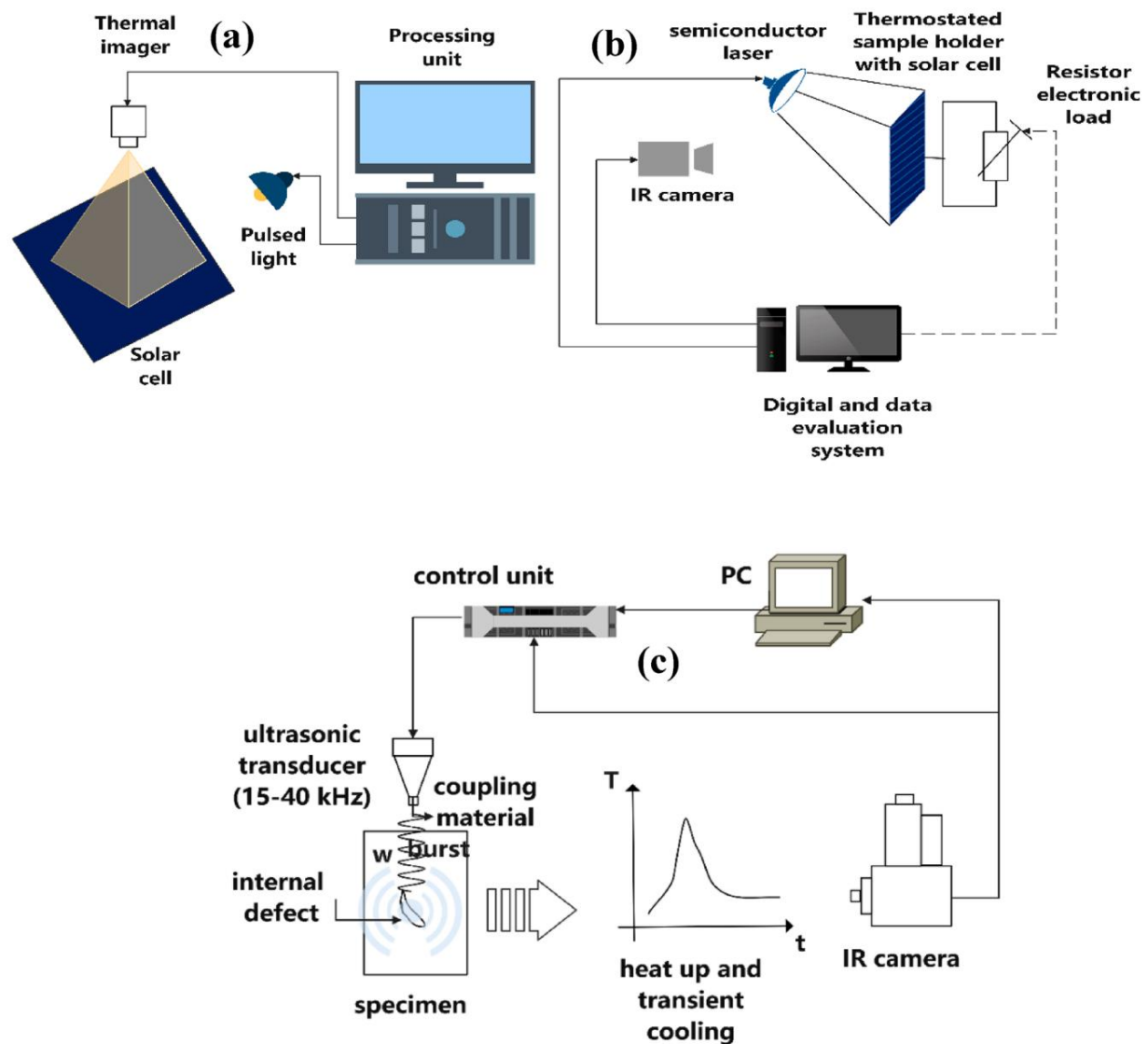
Ngược lại, IRTG có một số nhược điểm có thể hạn chế ứng dụng của chúng (Pastuszak và cộng sự, 2013). Cần có máy ảnh chính xác để tránh lỗi đo lường, vốn tốn kém (lên tới hàng nghìn đô la Mỹ) (lars). Ngoài ra, để tiến hành cài đặt camera và thông số chính xác, cần có người vận hành có kinh nghiệm được đào tạo bài bản. Bên cạnh đó, cần có nghiên cứu trước khi phát hiện để nêu rõ mối quan hệ giữa độ cao và độ phân giải hình ảnh.

2.3. Những cân nhắc về phép đo

Một số lỗi có thể xảy ra trong quá trình đo lường do nhiều yếu tố, đối với một số yếu tố, có thể liên quan đến kỹ thuật được sử dụng và các loại lỗi, chẳng hạn như độ sâu lỗi, loại vật liệu, thời gian kích thích và kích thước và bản chất lỗi. Mặt khác, nhiều lỗi có thể là do các yếu tố bên ngoài gây ra sự thay đổi nhiệt độ sai. Các yếu tố bên ngoài này có thể liên quan đến giao diện môi trường (gió, đèn mặt trời và độ ẩm), phản xạ, biến thể độ phát xạ và đặc điểm của máy ảnh (hồng và góc nhìn). Đối với các giao diện môi trường, nhiều yếu tố ảnh hưởng đến dữ liệu đo được, đặc biệt là đối với các khu vực ngoài trời, như đã được nhiều nhà nghiên cứu điều tra (Gomez và cộng sự, 2018); ví dụ, nhiệt độ được phát hiện có thể tăng lên do môi trường có gió và độ ẩm cao (Okada và cộng sự, 2013). Ngoài ra, độ phân giải và độ chính xác của hình ảnh IR có thể bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi sự phản xạ. Các phép đo chỉ có thể chính xác khi tín hiệu hình ảnh cho thấy nhiệt độ vi sai tương đương độ nhiễu cao. May mắn thay, dữ liệu đo được của các vật thể phát xạ cao không thể bị ảnh hưởng bởi phản xạ (Usamentiaga và cộng sự, 2014); trong khi đó, các biến thể phát xạ có thể ảnh hưởng xấu đến độ chính xác của dữ liệu được giám sát (Becker và Li, 1990). Mặt khác, các đặc điểm định vị camera có thể ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của phép đo racy. Đối với dữ liệu đáng tin cậy, camera IR phải được hiệu chuẩn và người vận hành phải có kinh nghiệm và kiến thức về hoạt động và hạn chế của camera. Camera phải được điều chỉnh theo phạm vi nhiệt độ và độ phát xạ theo các điều kiện đo được cũng như khoảng cách thích hợp vì khoảng cách nhỏ dẫn đến biến dạng hình học (Griffith và cộng sự, 1995; Luhmann và cộng sự, 2013). Ngoài ra, nhiệt độ có thể thay đổi tùy theo góc nhìn, cần được tối ưu hóa. Theo Ball và Pinkerton (Ball và Pinkerton, 2006), nhiệt độ của

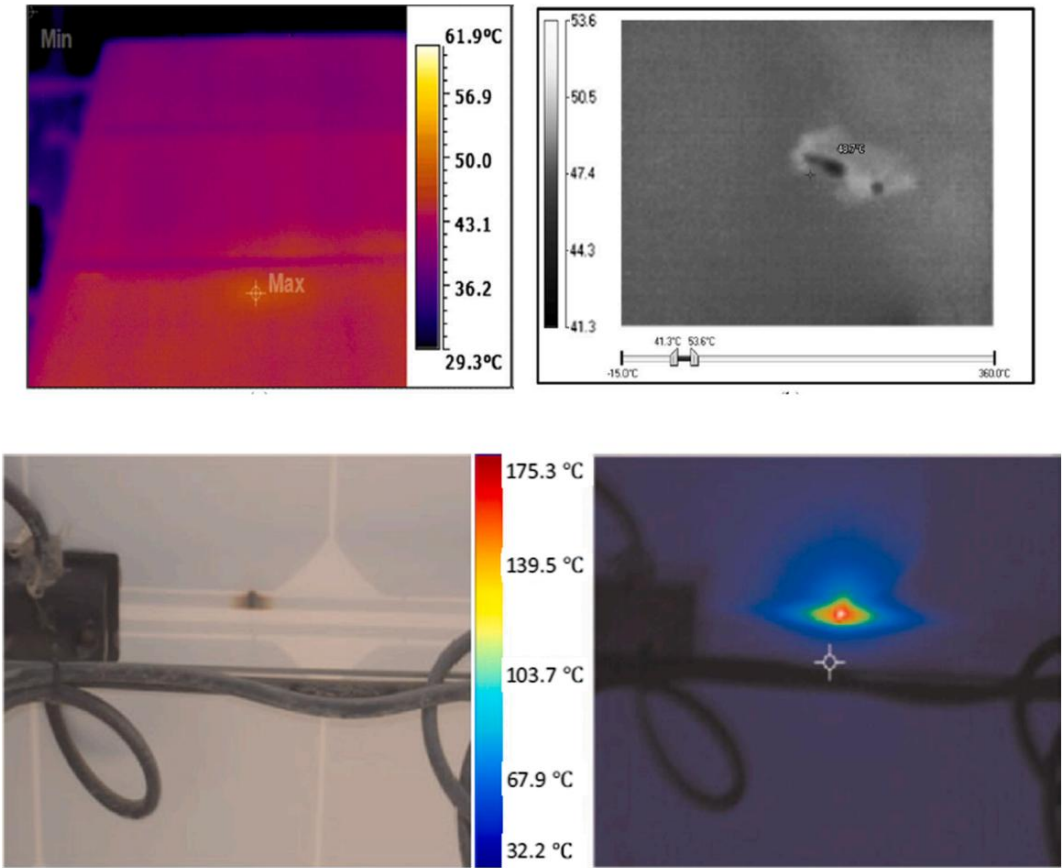


Hình 4. Ảnh hưởng của điều kiện đo lường đến sự chênh lệch nhiệt độ được camera IR phát hiện, liên quan đến hiệu chuẩn: (a) góc nhìn; (b) khoảng cách nhìn và độ ẩm tương đối (Ball và Pinkerton, 2006).



Hình 5. Sơ đồ các kỹ thuật chụp ảnh nhiệt mặt trời chủ động: (a) Xung; (b) Khóa chặt; (c) Rung-TG.





Hình 6. Ảnh chụp phân bố nhiệt độ bất thường (Sharma và cộng sự, 2014) và các điểm nóng được phát hiện (Ancuta và Cepisca, 2011; Munoz và cộng sự, 2008) dựa trên phép đo thực tế tại hiện trường. Bản quyền 2021 Elsevier.

Lò ống dài 900 mm thay đổi 1 °C trong phạm vi góc từ 0 đến 30 ° theo trục thẳng đứng; trong khi đó, vượt quá 40 °, nhiệt độ thay đổi mạnh liên quan đến hiệu chuẩn, như thể hiện trong Hình 4(a). Ngoài ra, tác động của độ ẩm tương đối và khoảng cách quan sát đến chênh lệch nhiệt độ có thể được nhận thấy rõ ràng từ Hình 4(b).

3. Giám sát tình trạng hệ thống PV và phát hiện lỗi bằng IRTG

Như đã đề cập trước đó, hiện nay, nhu cầu năng lượng tái tạo đang tăng lên và các trang trại năng lượng mặt trời đang được xây dựng, bao gồm hàng trăm đến hàng nghìn tấm pin. Nhiều lỗi có thể xảy ra với các thành phần khác nhau của hệ thống PV, đặc biệt là trong quá trình vận hành, chẳng hạn như các ô bị nứt, điểm nóng và nguy cơ cháy nổ. Do đó, điều quan trọng là phải phát hiện lỗi bằng các phương pháp dễ dàng, nhanh chóng và tiết kiệm. Vì nó kết hợp hầu hết các tính năng cần thiết này Trong các nghiên cứu, IRTG được coi là một kỹ thuật phù hợp để phát hiện hệ thống PV. PV-IRTG có thể được thực hiện thông qua cả chủ động và thụ động, như đã thảo luận trong phần hiện tại (Denio, 2012; Jimenez và cộng sự, 2017; và cộng sự, 2015). Muñoz

3.1. Nhiệt ảnh PV chủ động

TG hoạt động đã được sử dụng trong một số nghiên cứu bằng các phương pháp khác nhau, có cùng cách như minh họa trong Phần 2 bằng cách sử dụng phương pháp gia nhiệt hoặc làm mát theo kỹ thuật tương ứng (Tsanakas và Botsaris, 2011). Đối với TG xung, Hình 5(a), nhiều cuộc điều tra đã được tiến hành. được dẫn để đánh giá các điều kiện PV. Ví dụ, (Lopez và cộng sự, 2014) đã phát triển một TG xung trong đó thời gian kích thích 3-10 giây được đưa vào bằng cách truyền nhiệt bức xạ và quá trình làm mát bề mặt được ghi lại. Họ kết luận rằng các biến thể quang học và phản xạ bên ngoài làm ô nhiễm hình ảnh, sau đó việc tạo ra những hình ảnh này đòi hỏi một quá trình phức tạp. Ngoài ra, người ta thấy rằng khi nhiệt chảy

qua một khiếm khuyết, nhiệt độ tăng lên xảy ra trong khu vực lỗi do tích tụ nhiệt. Đối với quá trình gia nhiệt từng bước, (Sinha và cộng sự, 2016a) đã tiến hành các thí nghiệm để nghiên cứu các khiếm khuyết tách lớp xảy ra do các khiếm khuyết trong sản xuất và điều kiện ngoài trời. Họ đã sử dụng ba nguồn kích thích khác nhau, cụ thể là: đèn halogen 1500 W, đèn LED 380 W và dòng điện tối đa cho phép ở các đầu tấm pin. Theo kết quả, đèn halogen không chỉ là phương pháp dễ dàng và rẻ tiền; mà còn tạo ra đủ nhiệt độ để camera IR dễ dàng phát hiện. Tuy nhiên, nó bị hạn chế và khó sử dụng trong việc phát hiện các tấm pin PV trên quy mô lớn. Mặt khác, thông thường đối với sản phẩm




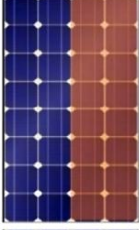
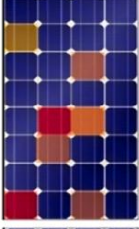



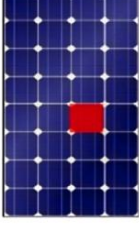
quá trình tion, TG khóa trong nhà được sử dụng như các giai đoạn quy trình (cắt, chế tạo công nghiệp và khắc laser) có thể gây ra lỗi trong mô-đun PV (Breitenstein và cộng sự, 2001). Bên cạnh đó, đây là một kỹ thuật tiêu chuẩn để đánh giá rò rỉ dòng điện và chụp ảnh tế bào PV (Breitenstein và cộng sự, 2018). (Isenberg và Warta, 2004) đã xác định được tổn thất điện năng trong các tế bào PV thông qua TG khóa, Hình 5(b), sử dụng nguồn kích thích là laser (bước sóng 914 nm). Kỹ thuật này đã chứng minh khả năng phát hiện lỗi hiệu quả và đầy đủ hơn so với TG xung; đặc biệt là ở những khu vực nhỏ. Ngược lại với các phương pháp khác, TG khóa có thể được sử dụng để phát hiện shunt trong các ô PV mà không cần phải tách riêng việc truy cập các ô đơn lẻ (Besold và cộng sự, 2014). Hơn nữa, để nghiên cứu Vibro-TG, Hình 5(c), (Ostapenko và cộng sự, 2006) đã kiểm tra các vết nứt của tấm silicon bằng cách sử dụng vi cộng hưởng siêu âm brations. Thông qua kỹ thuật này, các tế bào PV đã được phát hiện nhanh chóng và hiệu quả chỉ trong 2,4 giây toàn bộ chu kỳ thử nghiệm; nói cách khác, bao gồm giữ chân không, tải tế bào trên bộ chuyển đổi, thu thập dữ liệu vị trí, phép đo f-scan, phân tích và giải phóng wafer.

3.2. Nhiệt ảnh PV thụ động

Việc sử dụng TG thụ động là phổ biến nhất, đặc biệt là đối với các nhà máy quy mô lớn. Nó có đặc điểm là thúc đẩy phát hiện và đánh giá

Bảng 1

Các kiểu lỗi PV được phát hiện khác nhau Herraiz và cộng sự, 2020. Bản quyền 2021 Elsevier.

Có thể có lỗi	Sự miêu tả	Mẫu
Khỏe mạnh (tham khảo)	Không có lỗi	
Mạch hở	<p>Toàn bộ tấm pin có vẻ nóng hơn những tấm khác. Có thể là do không có lưới điện.</p> <p>Lưu ý: Cần phải đo điện trở để chứng minh khả năng hoạt động của nó (có giá trị cho toàn bộ công việc).</p> <p>Trừ đi diện tích nóng hơn so với diện tích của cùng một tấm pin và các mô-đun khác.</p>	 
Đốt ngắn mạch hoặc Bypass	<p>Một hoặc nhiều hàng nóng hơn các hàng khác trong cùng một bảng điều khiển.</p> <p>Một số ô tách biệt có nhiệt độ khác nhau; hiện tượng này còn được gọi là mô hình chấp vá.</p>	 
Sự phân luồng lớn	<p>Một số ô tách biệt và những ô gần khung ấm hơn phần còn lại của cùng một tấm bảng.</p> <p>Điều đó có thể do sự phân cực hoặc sự suy thoái tiềm ẩn gây ra.</p>	  
Tế bào bị lỗi, tế bào bị tách lớp hoặc bị che khuất hoàn toàn	Một cell nóng hơn toàn bộ tấm pin.	
Bóng đổ một phần	Sưởi ấm nhẹ nhàng.	

(tiếp theo ở trang sau)

Bảng 1 (tiếp theo )

Có thể có lỗi	Sự miêu tả	Mẫu
		
Tế bào bị hỏng	Một phần của một ô nóng hơn phần còn lại và toàn bộ tấm pin.	

điểm nóng ngoài việc đơn giản và rẻ hơn TG hoạt động vì nó chỉ cần một camera IR. Phân bố nhiệt độ bất thường và điểm nóng, [Hình 6](#), xuất hiện nếu dòng điện cao hơn dòng điện do tế bào PV tạo ra ngoài sự hiện diện của các tế bào bị hỏng, bóng tối hoặc lỗi chế tạo.

Ngoài ra, nếu một cell trong kết nối nối tiếp bị ảnh hưởng tiêu cực, nó sẽ hoạt động như điện trở thay vì tạo ra năng lượng ([Molenbroek và cộng sự, 1991](#)). Các điểm nóng như vậy có thể dẫn đến một số vấn đề, có thể bao gồm vỡ kính, tách lớp và/hoặc cháy. Ngoài ra, đã được chứng minh rằng các bất thường về nhiệt có thể ảnh hưởng đến hiệu suất bằng cách giảm trung bình khoảng  $1,16 \pm 0,12\%$  trong trường hợp 20 chuỗi mô-đun có 3 đốt bỏ qua ([Skomedal và cộng.sự, 2020](#)). ([Munoz và cộng sự, 2008](#)) đã nghiên cứu hai nhà máy có công suất danh định 6 kW để phát hiện ra thiệt hại do các điểm nóng nằm trong các liên kết năng lượng mặt trời điện trở và các tế bào quang điện. Người ta kết luận rằng việc quan sát các giá trị cường độ và điện áp là không đủ để phát hiện các điểm nóng và điều quan trọng là phải sử dụng camera IR để đo

chắc chắn để có được hình ảnh nhiệt đại diện hơn cho nhiệt độ của liên kết năng lượng mặt trời điện trở. Ngoài ra, ([Simon và Meyer, 2010](#)) nhận thấy mối quan hệ trực tiếp giữa các điểm nóng và xung lực cấp cao

các khu vực chứa các khu vực bằng cách phát hiện hư hỏng không thể phục hồi của tế bào PV thông qua Kính hiển vi điện tử quét. Bản đồ TG bề mặt phụ thuộc vào kỹ thuật chế độ phân cực ngược sử dụng nguồn điện bên ngoài được kết nối với điện áp phân cực 10 V. Hơn nữa, các yếu tố bên ngoài khác có thể ảnh hưởng đến hình ảnh TG, cần được xem xét, chẳng hạn như phản xạ kính ([Kren zinger và De Andrade, 2007](#)) và đất ([Acciani và cộng sự, 2010](#)).

Gần đây, IRTG trên không thông qua máy bay điều khiển từ xa đã được phát triển được vận hành và sử dụng trong nhiều lĩnh vực và ngành công nghiệp ([Entrop và Vase nev, 2017](#)). Đây là phương pháp tiết kiệm chi phí và giảm thời gian kiểm tra (giảm 10-15 lần so với các phương pháp thông thường). Các máy bay được sử dụng cũng cung cấp khả năng tiếp cận dễ dàng và phân tích nhanh các hệ thống được phát hiện ([Fabbri và Costanzo, 2020](#); [Rahaman và cộng sự, 2020](#)). ([Gallardo-Saavedra và cộng sự, 2018](#)) đã trình bày một đánh giá công nghệ toàn diện về TG trên không của các nhà máy PV, trong đó mô tả chi tiết về thiết bị đo được sử dụng và các phát hiện tương ứng đã được báo cáo. Gần đây, ([Kirsten Vidal de Oliveira và cộng sự, 2020](#)) đã sử dụng hai hệ thống IRTG trên không khác nhau để phát hiện các sự cố tại bốn nhà máy PV khác nhau của Brazil ở quy mô tiện ích có hai công nghệ (c-Si và CdTe). Theo báo cáo, IRTG trên không đã chứng minh là tiết kiệm thời gian và phát hiện hiệu quả hơn so với IRTG tại chỗ. Đối với các vấn đề được phát hiện, mặc dù không được coi là lỗi, các điểm nóng là kết quả của bụi bẩn và thảm thực vật, có tác dụng che bóng lên các ô PV, là những khiếm khuyết phổ biến nhất ảnh hưởng xấu đến hiệu suất của IRTG trên không và tổng thời gian ngừng hoạt động của các nhà máy PV. Đối với các khiếm khuyết thực tế, các lỗi phổ biến nhất dựa trên thời gian xảy ra có thể được sắp xếp theo thứ tự giảm dần như sau: chuỗi con bị ngắt kết nối, chuỗi bị ngắt kết nối, điểm nóng và các mô-đun có kính vỡ. Dựa trên mất điện và do đó là thời gian ngừng hoạt động của nhà máy, các chuỗi bị ngắt kết nối xuất hiện đầu tiên, sau đó

các chuỗi con bị ngắt kết nối và các điểm nóng có kính phía trước bị vỡ ở cuối. Bên cạnh các đặc điểm IV và phép đo EL, ([Oh và cộng sự, 2020](#)) đã chẩn đoán một PV 1 MW (10 năm tuổi) có hai mô-đun PV (200 và 220 W) với sự trợ giúp của IRTG trên không. Các lỗi được phát hiện dẫn đến tổn thất công suất đầu ra và giảm công suất, được tính toán là 88,3 và 93,2% cho PV 200 và 220 W tương ứng. Số lượng ô tăng lên trong điểm nóng phản ánh tình trạng mất điện. Ngoài ra, người ta cho rằng công suất tấm pin PV giảm 1/3 liên quan đến số lần hỏng diode bypass. Bên cạnh đó, việc sử dụng biến tần bị hỏng nghiêm trọng trong chuỗi PV có thể làm giảm nhiều hơn tốc độ hàng năm của nó bằng

40%.

Mặt khác, theo ([Malof và cộng sự, 2015](#)), việc phát hiện PV trên mái nhà tự động, nhanh chóng và có thể mở rộng quy mô có thể được thực hiện dựa trên hình ảnh vệ tinh với sự trợ giúp của thuật toán thị giác máy tính phù hợp. Họ đã phát triển và đánh giá một thuật toán phát hiện bằng cách sử dụng 100 bức ảnh thu thập được từ Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ cho 53 hệ thống PV trên mái nhà. Thông qua phân tích đường cong đặc tính hoạt động của máy thu, thuật toán được nghiên cứu có thể phát hiện thành công 50 hệ thống PV (94%).

Hơn nữa, với sự tiến bộ của ứng dụng học máy (ML) tions, phát hiện PV và chẩn đoán lỗi có thể được mô hình hóa chính xác bằng phương pháp ML dựa trên hình ảnh thu thập được ([Pierdicca và cộng sự, 2018](#); [Rico Espinosa và cộng sự, 2020](#)). ([Huerta Herraiz và cộng sự, 2020](#)) đã thiết kế một mô hình phát hiện lỗi PV bằng mạng nơ-ron tích chập dựa trên hình ảnh IRTG trên không. Phương pháp này được sử dụng để phát hiện các điểm nóng và thiết lập vị trí của chúng, và kết quả đã được xác thực bằng TG dựa trên

quan sát các nhà máy PV thực tế. Kết quả cho thấy phương pháp này có hiệu quả độ chính xác và độ tin cậy >99,02% và 91,67% để tự động phát hiện và định vị các bộ theo dõi năng lượng mặt trời và các vùng nóng tương đối (với sai số trung bình là 0,86 m). ([Ali và cộng sự, 2020](#)) đã đề xuất một phương pháp tiếp cận dựa trên IRTG (mô hình máy vectơ hỗ trợ (SVM) dựa trên các đặc điểm lai) để phát hiện và phân loại các điểm nóng trong các mô-đun PV. SVM dựa trên các đặc điểm lai được đề xuất cho thấy hiệu suất mạnh mẽ và có thể phân loại thành công 305 mẫu nhiệt PV (trong số 315). Ngoài ra, khi được thử nghiệm với một tập dữ liệu mới, mô hình đề xuất cho thấy độ chính xác cao (92%).

3.3. Các mẫu lỗi PV phổ biến được phát hiện bởi IRT

Có nhiều nguyên nhân gây ra lỗi và hỏng hóc trong các hệ thống PV, đặc biệt là các tấm pin PV, và những lỗi và nguyên nhân này có thể được biết đến theo mô hình IRTG ([Herraziz và cộng sự, 2020](#); [Kontges và cộng sự, 2014](#); [García Marquez và Segovia Ramírez, 2019](#)), như được tóm tắt trong [Bảng 1](#).



AW Kandeal và cộng sự	Năng lượng mặt trời 223 (2021) 33–43
4. Kết luận	
Nhiệt ảnh hồng ngoại (IRTG) đã được sử dụng trong nhiều ứng dụng tions, đặc biệt là trong các công trình lắp đặt điện. IRTG đã được xem xét do nhiều ưu điểm khác nhau của nó, là một kỹ thuật thử nghiệm không phá hủy sử dụng phát hiện thời gian thực các bộ phận khác nhau của bất kỳ hệ thống nào. Nó không chỉ được sử dụng trong thử nghiệm thực địa mà còn được sử dụng trong các quy trình sản xuất và lắp đặt. Bản thảo này tập trung vào sự tham gia của IRTG trong việc phát hiện và phân tích hệ thống quang điện (PV) agnostics. Có thể kết luận rằng IRTG là một kỹ thuật rất hiệu quả để phát hiện và chẩn đoán hệ thống PV bằng các phương pháp chủ động hoặc thụ động. Về một mặt, IRTG chủ động là một kỹ thuật phát hiện hệ thống PV nhanh; đặc biệt, khóa trong đó thời gian phát hiện chỉ đạt 2,4 giây. Mặt khác, IRTG thụ động có thể được sử dụng hiệu quả cho các nhà máy quy mô lớn; đặc biệt, để phát hiện các khu vực bị ảnh hưởng bởi điểm nóng. Ngoài ra, IRTG trên không và vệ tinh cho thấy khả năng phát hiện lỗi PV tốt, chính xác, nhanh chóng và tiết kiệm chi phí. Hơn nữa, việc sử dụng các phương pháp học máy dựa trên IRTG trong phát hiện lỗi PV và chẩn đoán lỗi đã chứng minh được độ chính xác cao (lên đến 99%) với biểu diễn. Các mẫu lỗi khác nhau và đường kính điện tương ứng gram được trình bày. Tóm lại, IRTG là một kỹ thuật dễ dàng, tiết kiệm, nhanh chóng, đơn giản và hiệu quả để phát hiện và chẩn đoán hệ thống PV.	
Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh	
Các tác giả tuyên bố rằng họ không có bất kỳ mối quan hệ cá nhân hoặc lợi ích tài chính cạnh tranh nào có thể ảnh hưởng đến công trình được trình bày trong bài báo này.	
Sự thừa nhận	
Công trình được tài trợ bởi Chương trình nghiên cứu và phát triển trọng điểm quốc gia Trung Quốc (2018YFE0127800), Quỹ khoa học sau tiến sĩ Trung Quốc (2020 M682411), Quỹ khoa học tự nhiên quốc gia Trung Quốc (51950410592) và Quỹ nghiên cứu cơ bản cho các trường đại học trung ương (2019KfYRCPY045) và Chương trình cho Đội ngũ thanh niên biên giới học thuật HUST. Các tác giả xin cảm ơn Trung tâm siêu máy tính quốc gia tại Thiên Tân (NSCC-TJ) và Lưới điện toán khoa học Trung Quốc (SCGrid) đã hỗ trợ tính toán. Ngoài ra, bài báo này dựa trên công trình được hỗ trợ bởi Tác giả tài trợ khoa học, công nghệ và đổi mới (STIFA), Ai Cập và Trung Quốc, theo khoản tài trợ (40517).	
Tài liệu tham khảo	Ball, M., Pinkerton, H., 2006. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của máy ảnh chụp ảnh nhiệt trong nghiên cứu núi lửa. J. Geophys. Res. Solid Earth 111 (B11), n/a–n/a. Becker, F., Li, Z.-L., 1990. Chỉ số phổ không phụ thuộc nhiệt độ trong hồng ngoại nhiệt dải tần. Cảm biến từ xa. Môi trường. 32 (1), 17–33. Becker, F., Li, Z.-L., 1995. Nhiệt độ bề mặt và độ phát xạ ở nhiều thang đo khác nhau: định nghĩa, đo lường và các vấn đề liên quan. Đánh giá về cảm biến từ xa 12 (3–4), 225–253.  Besold, S., Hoyer, U., Bachmann, J., Swonke, Th, Schillinsky, P., Steim, R., Brabec, CJ, 2014. Hình ảnh định lượng các shunt trong các mô-dun quang điện hữu cơ sử dụng nhiệt ảnh khóa . Sol. Energy Mater. Sol. Cells 124, 133–137. Birks, AS, Green Jr, RE, MacIntire, P., 1991. Sổ tay kiểm tra phi phá hủy ASNT: Kiểm tra siêu âm. Hiệp hội kiểm tra phi phá hủy Amer. Breitenstein, O., Langenkamp, M., Lang, O., Schirmacher, A., 2001. Các luồng phản lưỡng đo khác laser trên các tế bào năng lượng mặt trời được đánh giá bằng phương pháp chụp ảnh nhiệt khóa cực kỳ nhạy. Sol. Vật liệu năng lượng. Sol. Cells 65 (1–4), 55–62. Breitenstein, O., Sontag, D., 2019. Phân tích pin mặt trời cực bộ dựa trên nhiệt độ khóa cho pin mặt trời loại tiếp giáp dị tính thể đơn hiệu suất cao. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 193, 157–162. Breitenstein, O., Straube, H., Iwig, K., 2018. Khóa nhiệt độ với độ phân giải độ sâu trên các tế bào năng lượng mặt trời silicon. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 185, 66–74. Brooks, B., 2011. Vụ cháy Bakersfield: bài học về bảo vệ lỗi tiếp đất. SolarPro Mag 62. Brooks, W., Basso, T., Coddington, M., 2015. Hướng dẫn thực địa để kiểm tra các hệ thống quang điện hiện có để phát hiện lỗi tiếp đất và lắp đặt thiết bị nhằm giảm thiểu nguy cơ hỏa hoạn. Phòng thí nghiệm năng lượng tái tạo quốc gia (NREL), Golden, CO (Hoa Kỳ). D’Orazio, T., Leo, M., Distante, A., Guaragnella, C., Pianese, V., Cavaccini, G., 2008. Kiểm tra siêu âm tự động để phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu composite. NDT E Int. 41 (2), 145–154. Deutsch, S., Christlein, V., Berger, S., Buerhop-Lutz, C., Maier, A., Gallwitz, F., Riess, C., 2019. Phân loại tự động các ô mô-dun quang điện bị lỗi trong hình ảnh phát quang điện. Sol. Energy 185, 455–468. Denio, H., 2012. Nhiệt ảnh mặt trời trên không và giám sát tình trạng của pin quang điện hệ thống. Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ 38 năm 2012 IEEE 000613–000618. Djordjevic, S., Parlevliet, D., Jennings, P., 2014. Các lỗi có thể phát hiện trên các mô-dun năng lượng mặt trời mới lắp đặt ở Tây Úc. Renew. Energy 67, 215–221. Du, B., He, Y., He, Y., Zhang, C., 2020. Tiến trình và xu hướng trong chẩn đoán lỗi cho Hệ thống năng lượng tái tạo và bền vững dựa trên nhiệt ảnh hồng ngoại: một đánh giá. Công nghệ Vật lý Hồng ngoại 109, 103383. <a href="https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103383">https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103383</a> . Ebner, R., Kubicek, B., Újvári, G., 2013. Các kỹ thuật không phá hủy để kiểm soát chất lượng của các mô-dun PV: nhiệt ảnh hồng ngoại, hình ảnh phát quang điện và quang. IECON 2013-Hội nghị thường niên lần thứ 39 của Hiệp hội điện tử công nghiệp IEEE IEEE 8104–8109.  Entrop, AG, Vasenev, A., 2017. Máy bay không người lái hồng ngoại trong ngành xây dựng: thiết kế giao thức cho quy trình chụp ảnh nhiệt tòa nhà. Energy Procedia 132, 63–68. Fabbri, K., Costanzo, V., 2020. Nhiệt ảnh hồng ngoại hỗ trợ máy bay không người lái để hiệu chuẩn các mô hình mô phỏng và khí hậu ngoài trời. Sustain. Cities Soc. 52, 101855. <a href="https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101855">https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101855</a> . Fadhel, S., Delpha, C., Diallo, D., Bahri, I., Migan, A., Trabelsi, M., Mimouni, M. F., 2019. Phát hiện và phân loại lỗi che bóng PV dựa trên đường cong IV sử dụng phân tích thành phần chính: ứng dụng cho hệ thống PV bị cố lập. Sol. Energy 179, 1–10. Falvo, MC, Capparella, S., 2015. Các vấn đề an toàn trong hệ thống PV: lựa chọn thiết kế để phát hiện lỗi an toàn và ngăn ngừa rủi ro cháy nổ. Case Stud. Fire Saf. 3, 1–16. Gallardo-Saavedra, S., Hernándeiz-Callejo, L., Alonso-García, MDC, Santos, JD, Morales-Aragón'es, JI, Alonso-Gómez, andez, Gonzalez- V., Moreton-Fernández, J., Martínez-Jurado, J., Hongo, Minh, thục, và Cristan, O., các khuyết tật của tế bào quang điện mặt trời bằng phương pháp phát quang điện, nhiệt ảnh hồng ngoại, đường cong IV và các thử nghiệm trực quan: Nghiên cứu thực nghiệm và so sánh. Năng lượng 205, 117930. <a href="https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117930">https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117930</a> .  Gallardo-Saavedra, S., Hernándeiz-Callejo, L., Duque-Perez, O., 2018. Đánh giá công nghệ về thiết bị đo được sử dụng trong kiểm tra nhiệt độ trên không của các nhà máy quang điện. Renew. Sustain. Energy Rev. 93, 566–579. Gan, PY, Li, Zhidong, 2015. Nghiên cứu định lượng về quang điện mặt trời toàn cầu dài hạn thị trường. Làm môi. Duy trì. Năng lượng Rev. 46, 88–99. Grasso, AD, Pennisi, S., Ragusa, M., Tina, GM, Ventura, C., 2015. Hiệu suất đánh giá mô-dun quang điện đa chuỗi với bộ chuyển đổi DC-DC phân tán. IET Renew. Máy phát điện. 9 (8), 935–942. Griffith, B., Beck, F., Arasteh, D., Türlér, D., 1995. Các vấn đề liên quan đến việc sử dụng nhiệt ảnh hồng ngoại để thử nghiệm thực nghiệm các hệ thống cách điện. Phòng thí nghiệm Lawrence Berkeley, CA (Hoa Kỳ). Guo, H., Li, Z., 2019. Ứng dụng hình ảnh nhiệt hồng ngoại y tế trong chẩn đoán tập trung nội tại của con người. Công nghệ vật lý hồng ngoại Habib, K., 2000. Phổ phát xạ điện hóa được sửa đổi (MEES) Là kỹ thuật NDT để phát hiện sự ăn mòn cục bộ của hợp kim đồng trong nước biển. Opt. Lasers Eng. 33 (1), 1–13.  Habib, K., 2001. Phổ phát xạ điện hóa được sửa đổi (MEES) như NDT kỹ thuật phát hiện sự ăn mòn cục bộ của hợp kim đồng trong nước biển. Khử muối 135 (1–3), 111–119.  Hameed, Z., Hong, YS, Cho, YM, Ahn, SH, Song, CK, 2009. Giám sát tình trạng và phát hiện lỗi của tua-bín gió và các thuật toán liên quan: một bản đánh giá. Làm môi. Duy trì. Năng lượng Rev. 13 (1), 1–39. Herraiz, AH, Marugán, AP, Marquez, FPG, 2018. Năng suất tối ưu trong năng lượng mặt trời Nhà máy điện dựa trên quản lý kỹ thuật và học máy, Hội nghị quốc tế về khoa học quản lý và quản lý kỹ thuật. Springer, trang. 983–994.

Herraiz, AH, Marugan, AP, M´ arquez, FPG, 2020. Chương 7 - Tổng quan về hệ thống giám sát tình trạng cho các nhà máy điện mặt trời dựa trên nhiệt ảnh. Trong: Papaalias, M., M´ arquez, FPG, Karyotakis, A. (Biên tập viên), Kỹ thuật giám sát tình trạng và thử nghiệm không phá hủy cho tài sản công nghiệp năng lượng tái tạo. Butterworth- Heinemann, Boston, trang 103-118.

Huerta Herrera, A., Pliego Marugan, A., García Marquez, FP, 2020. Giám sát tình trạng nhà máy quang điện bằng cách sử dụng phân tích hình ảnh nhiệt theo cấu trúc dựa trên mạng nơ-ron tích chập. Năng lượng tái tạo 153, 334-348.

Hung, YY, Ho, HP, 2005. Shearography: Một kỹ thuật đo quang học và ứng dụng. Mater. Sci. Eng.: R: Báo cáo 49 (3), 61-87.

Isenberg, J., Warta, W., 2004. Đánh giá phân giải không gian về tổn thất điện năng trong pin mặt trời công nghiệp bằng phương pháp chụp ảnh nhiệt khóa sáng. Prog. Photovoltaics Res. Appl. 12 (5), 339-353.

Jadin, MS, Taib, S., 2012. Tiến bộ gần đây trong việc chẩn đoán độ tin cậy của thiết bị điện bằng cách sử dụng nhiệt ảnh hồng ngoại. Công nghệ vật lý hồng ngoại. 55 (4), 236-245.

J´ ager-Waldau, AJE, 2020. Ảnh chụp nhanh về quang điện-tháng 2 năm 2020. 13(4), 930.

Jefferli, F., Ouariach, A., El Kihel, B., Nougaoui, A., 2019. Chẩn đoán động cơ không đồng bộ ba pha và tác động lên chuỗi động học bằng kỹ thuật chụp ảnh nhiệt hồng ngoại không phá hủy. Công nghệ Vật lý hồng ngoại. 102, 102970. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2019.07.001>.

Jim´enez, AA, Munoz, CQG, Marquez, FPG, Zhang, L., 2017. Trí tuệ nhân tạo để quản lý bảo trì nhà máy điện mặt trời tập trung, Biên bản hội nghị quốc tế lần thứ mười về khoa học quản lý và quản lý kỹ thuật. Springer, trang. 125-134.

Johnson, S., Silverman, T., 2015. Chụp ảnh mô-đun ngoài trời phát quang và phát quang điện; NREL (Phòng thí nghiệm năng lượng tái tạo quốc gia). Phòng thí nghiệm năng lượng tái tạo quốc gia (NREL), Golden, CO (Hoa Kỳ).

Kandeal, AW, Thakur, AK, Elkadeem, MR, Elmorshedy, MF, Ullah, Z., Sathayamurthy, R., Sharshir, SW, 2020. Cải thiện hiệu suất quang điện bằng các phương pháp làm mát khác nhau: đánh giá hiện trạng. J. Cleaner Prod. 273, 122772. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122772>.

Kirintat, A., Krecjar, O., 2018. Đánh giá về nhiệt ảnh hồng ngoại để nghiên cứu lớp vỏ tòa nhà: tiến bộ và triển vọng. Energy Build. 176, 390-406.

Vidal, K., de Oliveira, A., Aghaei, M., Rüther, R., 2020. Nhiệt ảnh hồng ngoại trên không để phát hiện lỗi nhanh và chi phí thấp trong các nhà máy điện PV quy mô tiện ích. Sol. Energy 211, 712-724.

..

Kontges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U., Berger, KA, Kato, K., Friesen, T., Liu, H., Van Iseghem, M., Wohlgemuth, J., 2014. Đánh giá các lỗi của mô-đun quang điện.

Kontges, M., Siebert, M., Hinken, D., Eitner, U., Bothe, K., Potthof, T., 2009. Phân tích định lượng các mô-đun PV bằng hình ảnh phát quang điện để kiểm soát chất lượng, Hội nghị năng lượng mặt trời quang điện châu Âu lần thứ 24. Hamburg, Đức, trang 21-24.

Krenzinger, A., de Andrade, AC, 2007. Kinh nghiệm ngoài trời chính xác nhiệt kế áp dụng cho các thiết bị năng lượng mặt trời. Sol. Energy 81 (8), 1025-1034.

Krueger, Joel, Smith, Duncan, 2003. Một cách tiếp cận thực tế để phân tích nguy cơ cháy nổ cho các công trình ngoài khơi. J. Hazard. Mater. 104 (1-3), 107-122.

Kyllili, Angeliki, Fokaides, Paris A., Christou, Petros, Kalogirou, Soteris A., 2014. Ứng dụng nhiệt ảnh hồng ngoại (IRT) để chẩn đoán tòa nhà: một bài đánh giá. Ứng dụng Năng lượng 134, 531-549.

Ley, O., Godínez, V., 2013. Đánh giá không phá hủy (NDE) các vật liệu composite hàng không vũ trụ: ứng dụng nhiệt ảnh hồng ngoại (IR), Đánh giá không phá hủy (NDE) các vật liệu composite nền polymer. Elsevier, tr. 309-336e.

Lopez, Fernando, Ibarra-Castanedo, Clemente, Maldague, Xavier, 2014. Tối ưu hóa kiểm tra nhiệt ảnh xung bằng hồi quy bình phương nhỏ nhất một phần. NDT và E Int. 66, 128-138.

Lovejoy, M., 2012. Kiểm tra hạt từ: hướng dẫn thực tế. Springer Science & Truyền thông doanh nghiệp.

Lucchi, Elena, 2018. Ứng dụng của nhiệt ảnh hồng ngoại trong kiểm toán năng lượng của các tòa nhà: một bản đánh giá. Làm mới. Duy trì. Energy Rev. 82, 3077-3090.

Luhmann, T., Piechle, J., Roelfs, T., 2013. Hiệu chuẩn hình học của máy ảnh nhiệt. Cảm biến từ xa hồng ngoại nhiệt. Springer 27-42.

Maldague, X., 2001. Lý thuyết và thực hành công nghệ hồng ngoại để không phá hủy đang thí nghiệm.

Maldague, X, Galimiche, F, Ziadi, A, 2002. Công nghệ Vật lý Hồng ngoại 43 (3-5), 175-181.

Maldague, XP, 2012. Đánh giá không phá hủy vật liệu bằng phương pháp chụp ảnh nhiệt hồng ngoại. Tập chí Khoa học và Kinh doanh Springer.

Malof, JM, Rui, H., Collins, LM, Bradbury, K., Newell, R., 2015. Năng lượng mặt trời tự động phát hiện tấm pin quang điện trong hình ảnh vệ tinh. Trong: Hội nghị quốc tế năm 2015 về nghiên cứu và ứng dụng năng lượng tái tạo (ICRERA), trang 1428-1431.

García M´ arquez, Fausto Pedro, Segovia Ramirez, Isaac, 2019. Hệ thống giám sát tình trạng cho các nhà máy điện mặt trời với các cảm biến bức xạ và nhiệt được nhúng trong các phương tiện bay không người lái. Đo lường 139, 152-162.

Mellit, A., Tina, GM, Kalogirou, SA, 2018. Phương pháp phát hiện và chẩn đoán lỗi cho hệ thống quang điện: tổng quan. Làm mới. Duy trì. Energy Rev. 91, 1-17.

Michaloudaki, M., Lehmann, E., Kosteas, D., 2005. Chụp ảnh neutron như một công cụ để đánh giá không phá hủy các mối nối dính trong nhôm. Int. J. Adhes. Adhes. 25 (3), 257-267.

Miller, R., McIntire, P., 1987. Sổ tay thử nghiệm phi phá hủy, Phát xạ âm thanh, tập. 5. ASNT, Columbus.

Molenaar, E., Waddington, D., Emery, K., 1991. Độ nhạy điểm nóng và thử nghiệm các mô-đun PV, Biên bản hội nghị của Hội nghị chuyên gia quang điện IEEE lần thứ hai mươi hai-1991. IEEE, trang 547-552.

Gomez MuñozCarlos Quiterio, Arcos Jim´enez, Alfredo, García Marquez, Fausto Pedro, 2018. Biến đổi wavelet và nhận dạng mẫu trên sóng hướng dẫn siêu âm để chẩn đoán trạng thái bề mặt đóng băng. Năng lượng tái tạo 116, 42-54.

Munoz, CQG, Marquez, FPG, Liang, C., Maria, K., Abbas, M., Mayorkinos, P., 2015. Một cách tiếp cận giám sát tình trạng mới để quản lý bảo trì trong các nhà máy điện mặt trời tập trung. Trong: Biên bản hội nghị quốc tế lần thứ chín về khoa học quản lý và quản lý kỹ thuật. Springer, trang 999-1008.

Gomez Munoz, CQQuiterio, García Marquez, Fausto Pedro, Sanchez Tom´ as, Juan Manuel, 2016. Phát hiện bằng bằng phương pháp đo bức xạ hồng ngoại nhiệt trên cánh tua bin gió. Đo lường 93, 157-163.

..

Munoz, J., Lorenzo, E., Martínez-Moreno, F., Marroyo, L., García, M., 2008. Một cuộc điều tra về các điểm nóng trong hai nhà máy điện mặt trời lớn được kết nối với lưới điện. Tiến trình. Tập chí Nghiên cứu quang điện 16 (8), 693-701.

Murayama, R., Fujisawa, K., Fukuoka, H., Hirao, M., 1996. Phát triển hệ thống đánh giá trực tuyến về khả năng tạo hình trong các tấm thép cán nguội sử dụng bộ chuyển đổi âm thanh điện tử (EMAT). NDT và E Int. 29 (3), 141-146.

Murayama, Riichi, Fujisawa, Kazuo, Hirao, Masahiko, Fukuoka, Hidekazu, 1997. Đánh giá không phá hủy khả năng tạo hình của các tấm thép mạ kẽm bằng cách sử dụng đầu dò âm thanh điện tử. NDT và E Int. 30 (6), 377-382.

Nagarkar, VV, Miller, SR, Tipnis, SV, Gaysinskiy, VB, Lempicki, A., Brecher, C., 2002. Hệ thống chụp CT/chụp X quang tốc độ cao độ phân giải cao để kiểm tra không phá hủy vật liệu composite liên kết dính, Những phát triển trong chụp cắt lớp tia X III. Hiệp hội quang học và quang tử quốc tế 265-273.

Ogawa, Kazuhiro, Minkov, Dorian, Shoji, Tetsuo, Sato, Minoru, Hashimoto, Hideo, 1999. NDE về sự suy thoái của lớp phủ chắn nhiệt bằng phương pháp quang phổ trở kháng. NDT và E Int. 32 (3), 177-185.

Oh, Wonwook, Choi, Hoonjoo, Seo, Kun Won, Kim, Daesung, Kim, So-Yeon, Lee, Hae-Seok, Hwang, Heon, Kim, Donghwan, 2020. Đánh giá dựa trên hiệu suất và sự cố của hệ thống PV trong nhà máy điện PV 1 MW đã hoạt động trong 10 năm. Vi điện tử. Độ tin cậy. 114, 113763. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2020.113763>.

Okada, K., Takemura, K., Sato, S., 2013. Nghiên cứu các yếu tố thiết yếu khác nhau để chụp ảnh nhiệt hồng ngoại tối ưu. J. Vet. Med. Sci. 13-0133.

Ostapenko, S., Dallas, W., Hess, D., Polupan, O., Wohlgemuth, J., 2006. Phát hiện và phân tích vết nứt bằng cách sử dụng rung động siêu âm cộng hưởng trong các tấm wafer silicon tinh thể. Trong: Hội nghị thế giới lần thứ 4 về năng lượng quang điện IEEE năm 2006. IEEE, trang 920-923.

Papaalias, Mayorkinos, Cheng, Liang, Kogia, Maria, Mohimi, Abbas, Kappatos, Vassilios, Selcuk, Cem , Constantinou, Louis, Munoz, Carlos Quiterio Gomez, Marquez, Fausto Pedro Garcia, Gan, Tat-Hean, Lâm mới. Năng lượng 85, 1178-1191.

Pastuszak, Przemysław D., Muc, Aleksander, Barski, Marek, 2013. Phương pháp kỹ thuật không phá hủy hồng ngoại: tổng quan và nghiên cứu thực nghiệm. Key Eng. Mater. 542, 131-141.

Pavlovic, Aleksandra, Barbaric, Zarko, 2013. Ứng dụng camera ảnh nhiệt G100/120 trong đo hiệu quả năng lượng trong xây dựng tòa nhà. Serb. J. Electr. Eng. 10 (1), 153-164.

Phinikarides, Alexander, Kindyni, Nitsa, Makrides, George, Georgiou, George E., 2014. Đánh giá các phương pháp về tốc độ suy thoái quang điện. Làm mới. Duy trì. Energy Rev. 40, 143-152.

Pierdicca, R., Malinverni, E., Piccinini, F., Paolanti, M., Felicetti, A., Zingaretti, PJIAo tP, Viễn thám, Sciences, SI, 2018. Mạng lưới thần kinh tích chập sâu để tự động phát hiện các tế bào quang điện bị hư hỏng. 42(2).

Polidori, Guillaume, Kinne, Marion, Mereu, Tracy, Beaumont, Fabien, Kinne, M´elanie, 2018. Nhiệt ảnh hồng ngoại trong y tế trong điều trị đau lưng bằng phương pháp nắn xương. Bổ sung. Trị liệu. Y khoa. 39, 19-23.

Rahaman, Sheikh Aminur, Urmee, Tania, Parlevliet, David A., 2020. Xác định lỗi hệ thống PV bằng hình ảnh hồng ngoại (IR) dựa trên máy bay điều khiển từ xa (RPA): một bài đánh giá. Sol. Energy 206, 579-595.

Rantala, J., Wu, D., Busse, G., 1996. Phương pháp rung nhiệt khóa biên độ điều biến cho NDE của polyime và vật liệu composite. Res. Nondestruct. Eval. 7 (4), 215-228.

Rico Espinosa, Alejandro, Bressan, Michael, Giraldo, Luis Felipe, 2020. Phân loại dấu hiệu hỏng hóc trong các nhà máy quang điện mặt trời sử dụng hình ảnh RGB và mạng nơ-ron tích chập. Renew. Năng lượng 162, 249-256.

Sharma, Vikrant, Sastry, OS, Kumar, Arun, Bora, Birni, Chandel, SS, 2014. Phân tích sự suy thoái của lớp mỏng nội tại a-Si(HIT) silicon và công nghệ quang điện mặt trời mc-Si trong điều kiện ngoài trời. Năng lượng 72, 536-546.

Sigal´es, B., 2003. Truyền nhiệt kỹ thuật.

Simon, Michael, Meyer, Edson L., 2010. Phát hiện và phân tích sự hình thành điểm nóng trong pin mặt trời. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 94 (2), 106-113.

Sinha, A., Sastry, OS, Gupta, R., 2016a. Phát hiện và mô tả đặc điểm của sự tách lớp trong các mô-đun PV bằng phương pháp chụp ảnh nhiệt hồng ngoại chủ động. Không phá hủy. Kiểm tra. Đánh giá. 31 (1), 1-16.

Sinha, Archana, Sastry, OS, Gupta, Rajesh, 2016b. Đặc tính không phá hủy của hiệu ứng đổi màu của chất đóng gói trong các mô-đun PV silicon tinh thể. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 155, 234-242.

Skomedal, Åsmund F., Aarseth, Bjørn L., Haug, Halvard, Selj, Josefine, Marstein, Erik S., 2020. Mất bao nhiêu điện năng ở điểm nóng? Một nghiên cứu điển hình định lượng tác động của các dị thường nhiệt trong hai nhà máy điện PV quy mô tiện ích. Sol. Energy 211, 1255-1262.

Stoicescu, L., Reuter, M., Werner, J., 2014. DaySys: hình ảnh phát quang của các mô-đun PV trong ánh sáng ban ngày, biên bản hội nghị và triển lãm năng lượng mặt trời quang điện châu Âu lần thứ 29 (EU PVSEC). trang 2553-2554.

Tejedor, Blanca, Casals, Miquel, Gangoellis, Marta, Macarulla, Marcel, Forcada, Nùria, 2020. Mô hình hóa sự thoái hóa của con người dành cho người cao tuổi bằng phương pháp chụp ảnh nhiệt hồng ngoại: Đánh giá phản ứng của hệ thống điều hòa nhiệt độ trong môi trường trong nhà vào mùa đông. Build. Environ. 186, 107354. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107354>.

AW Kandeal và cộng sự

Năng lượng mặt trời 223 (2021) 33–43

Tina, GM, Cosentino, F., Ventura, C., 2016. Giám sát và chẩn đoán các nhà máy điện quang điện, Năng lượng tái tạo phục vụ nhân loại Tập II. Springer, trang 505-516.

Tsanakas, J., Botsaris, P., 2011. Đánh giá nhiệt độ thụ động và chủ động như một công cụ để theo dõi hiệu suất dựa trên điều kiện của các mô-đun quang điện. J. Sol. Energy Eng. 133 (2), 021012.

Tsanakas, JA, Chrysostomou, D., Botsaris, PN, Gasteratos, A., 2015. Chẩn đoán lỗi của các mô-đun quang điện thông qua xử lý hình ảnh và phát hiện cạnh Canny trên các phép đo nhiệt độ thực địa. Int. J. Sustain. Energ. 34 (6), 351-372.

Tsanakas, John A., Ha, Long, Buezhop, Claudia, 2016. Lỗi và chẩn đoán nhiệt hồng ngoại trong hoạt động của mô-đun quang điện c-Si: tổng quan về nghiên cứu và những thách thức trong tương lai. Lâm mới. Duy trì. Energy Rev. 62, 695-709.

Tsanakas, John A., Ha, Long D., Al Shakarchi, F., 2017. Lắp đặt quang điện bằng phương pháp tam giác hóa trên không và tham chiếu địa lý mặt đất của hình ảnh nhiệt/hình ảnh. Năng lượng tái tạo 102, 224-233.

Tsanakas, JA, Vannier, G., Plissonnier, A., Ha, DL, Barruel, F., 2015b. Chẩn đoán lỗi và phân loại các nhà máy quang điện quy mô lớn thông qua lập bản đồ nhiệt trực giao trên không, Biên bản báo cáo Hội nghị và Triễn lãm Năng lượng Mặt trời Quang điện Châu Âu lần thứ 31 năm 2015. tr. 1783-1788.

Udpa, SS, Moore, PO, 2004. Sổ tay thử nghiệm phi phá hủy: Điện tử  
Biên tập viên thử nghiệm/kỹ thuật, Satish S. Udpa; Biên tập viên, Patrick O. Moore. Hiệp hội thử nghiệm phi phá hủy Hoa Kỳ.

Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., Bulnes, FG, 2014. Nhiệt ảnh hồng ngoại để đo nhiệt độ và thử nghiệm không phá hủy. Cẩm biên 14 (7), 12305-12348.

van Eck, Nees Jan, Waltman, Ludo, 2010. Khảo sát phần mềm: VOSviewer, một chương trình máy tính để lập bản đồ thư mục. Scientometrics 84 (2), 523-538.

Waqar Akram, M., Li, Guiqiang, Jin, Yi, Chen, Xiao, Zhu, Changan, Zhao, Xudong, Aleem, M., Ahmad, Ashfaq, 2019. Cải thiện nhiệt ảnh ngoài trời và xử lý hình ảnh hồng ngoại để phát hiện lỗi trong các mô-đun PV. Sol. Energy 190, 549-560.

Wiecek, B., 2006. Đánh giá về xử lý hình ảnh nhiệt cho thụ động và chủ động nhiệt ảnh, Hội nghị thường niên lần thứ 27 về Kỹ thuật Y học và Sinh học của IEEE năm 2005. IEEE 686-689.

Wu, Datong, Busse, Gerd, 1998. Khóa nhiệt độ để đánh giá không phá hủy nguyên vật liệu. Tổng quan về nhiệt 37 (8), 693-703.

Xavier Jr, AL, Celaschi, SJRBdEdF, 2012. Bức xạ vật đen như một hàm số của tần số và bước sóng: một phương pháp tiếp cận theo định hướng thực nghiệm. 34(2), 1-7.

Yang, Bo, Huang, Yaoda, Cheng, Long, 2013. Phát hiện và đánh giá khuyết tật nhiệt ảnh siêu âm hồng ngoại cho vật liệu composite CFRP hàng không vũ trụ. Hồng ngoại Phys. Công nghệ 60, 166-173.