

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP LAU TẮM PIN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI HỘ GIA ĐÌNH KẾT HỢP DRONE VÀ ROBOT HÚT BỤI

STUDY ON SOLUTION TO CLEAN HOUSEHOLD SOLAR PANEL USING DRONE AND VACUUM ROBOT

Trần Thanh Dân^{1,2}, Trịnh Vương Quang Huy^{2,3}, Dương Văn Tú^{1,2,3}, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu dùng mobile robot hút/lau bụi kết hợp với drone để vệ sinh định kỳ tấm pin mặt trời hộ gia đình. Drone giúp đưa robot lên tấm pin, thường được lắp đặt trên mái nhà có độ nghiêng làm mất khả năng bám của robot. Vấn đề này được giải quyết bằng đề xuất dùng chính cánh quạt của drone để tăng độ bám cho robot. Thiết kế và thực nghiệm được triển khai chứng minh tính khả thi của giải pháp đề nghị.

Từ khóa: Drone; Tấm pin năng lượng mặt trời; Robot hút bụi.

ABSTRACT

This paper presents a study on the combination of robotic vacuum cleaners and a drone for the regular cleaning of solar panels. The drone assists in lifting the robot onto the solar panels, which are installed on inclined rooftops, posing challenges to the robot's mobility. This issue is addressed by using the drone's propellers to create negative thrust that helps the robot adhere to the inclined surface. Design and experiments on the robot are implemented to demonstrate the feasibility of the proposed solution.

Keywords: Drone, solar panel, vacuum robot.



1. GIỚI THIỆU

Các vết bẩn (bụi, đốm nước, lá cây, phấn hoa,...) bám trên tấm pin mặt trời làm giảm hiệu suất chuyển đổi điện của tấm pin. Có nhiều biện pháp xử lý những chất bụi này: thổi khí nén, phun nước áp lực, lau sạch bằng thủ công/robot, tạo dao động,... [1], [2], [3]. Có hai phương pháp vệ sinh tấm pin trên thực tế là lau ướt và lau khô [4]. Lau khô đơn giản hơn lau ướt, tuy nhiên không xử lý được hoàn toàn khi vết bẩn bám chặt.

Để làm vệ sinh các tấm pin trên mái nhà hộ dân dụng, cần phải đưa robot lên mái nhà. Ý tưởng sử dụng drone đã được đề xuất và thực hiện bởi các nhóm nghiên cứu từ nhiều nước. Nhóm nghiên cứu từ Đại học SKKU, Hàn Quốc đã được cấp bằng sáng chế cho ý tưởng kết hợp drone với mobile robot để lau dọn tấm pin. Đề xuất thiết kế 6 model khác nhau cho để robot lau dọn, một trong số đó sử dụng bánh đai và được cho là có khả năng di chuyển trên góc nghiêng đến 40° .



Hình 1. SKKU robot

Solar Drone là công ty phát triển drone phun nước vệ sinh tấm pin. Drone thiết kế mang theo bình nước riêng, có khả năng chở tải 5kg, pin sử dụng được trong 20min, phun nước vệ sinh ở áp suất 27bar cách bề mặt tấm pin 0,3m. Hệ thống định vị bằng cảm biến LiDAR và camera giúp drone thực hiện nhiệm vụ và quay về trạm của công ty.

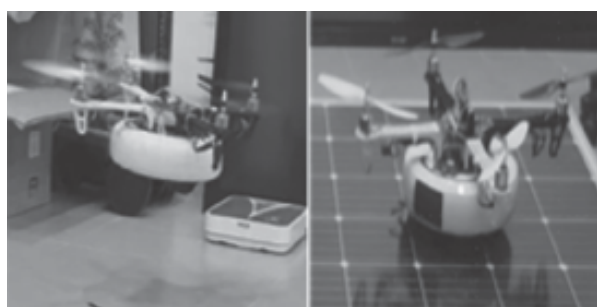


Hình 2. Solar Drone robot

Trong [5], nhóm nghiên cứu thực hiện vệ sinh tấm pin chỉ sử dụng gió từ cánh quạt của drone. Thử nghiệm được thực hiện với đường bay và lượng bụi khác nhau, chứng minh được tính hiệu quả của phương pháp.

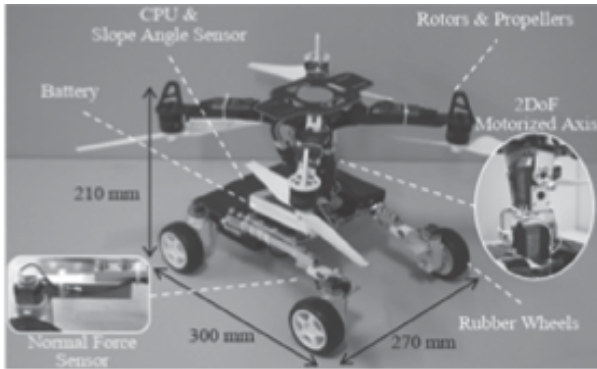
Có 3 kết cấu lắp đặt tấm pin trên mái nhà hộ dân dụng [6]: Lắp đặt trên mái ngói, mái tôn và nóc nhà phẳng. Độ dốc của mái nhà quyết định góc nghiêng của tấm pin. Theo TCVN 4604_2012, độ dốc của mái được quy định: Mái tôn $6,75^\circ \div 9^\circ$; Mái ngói $13,5^\circ \div 27^\circ$.

Thực nghiệm tại DCSELab sử dụng robot hút bụi gắn với drone, ta thấy robot không thể di chuyển trên mặt phẳng nghiêng quá 8° .



Hình 3. Mô hình thực nghiệm đầu tiên

Để có thể cho robot di chuyển trên mặt phẳng nghiêng, phải có thêm lực hỗ trợ robot bám trên bề mặt tấm pin. Một phương pháp tạo lực bám mà sử dụng lực đẩy từ cánh quạt là “propulsion adhesion”.



Hình 4. Robot Đại học Tsukuba

Robot của đại học Tsukuba [7] có thể di chuyển trên mặt phẳng nghiêng lên đến 90° với lực ép đủ lớn. Robot gồm khung drone DJI lật ngược gắn với đế robot 4 bánh qua 2 servo motor để điều chỉnh phương chiều của lực ép. Hướng của robot được xác định thông qua IMU tích hợp trên bộ điều khiển bay, trong khi cảm biến cảm biến tải trọng được sử dụng để đo lực đẩy âm của máy bay không người lái. Dữ liệu này, kết hợp với thuật toán điều khiển được sử dụng để tính toán độ lớn và góc cần thiết của lực bám dính cần thiết.



Hình 5. Disney VertiGo robot

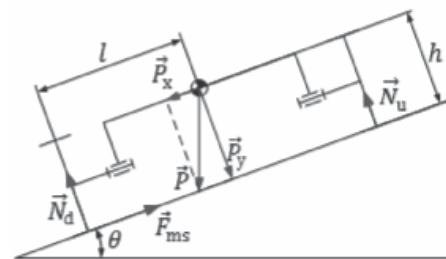
Một ứng dụng khác cũng sử dụng lực đẩy âm để bám dính là robot VertiGo của Disney. Cả 4 bánh của VertiGo không được dẫn động, robot di chuyển nhờ phản lực từ 2 cánh quạt. Có thể điều chỉnh chiều của phản lực

quanh 2 trục roll và pitch, đặc điểm này giúp robot di chuyển từ mặt đất lên tường được.

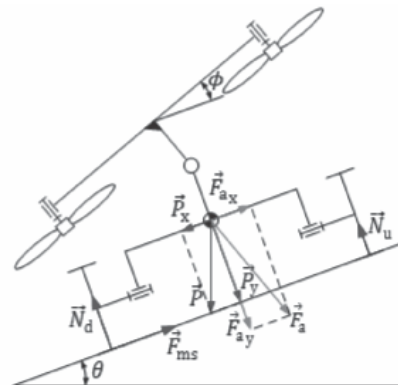
Các nghiên cứu trên chưa quan tâm đúng mức đến việc hút/lau bề mặt pin. Việc hút/lau bụi hiện nay đã được triển khai hầu như hoàn thiện qua các robot hút/lau bụi thương mại. Trên cơ sở này, bài báo đề xuất giải pháp làm vệ sinh tấm pin mặt trời định kỳ dùng robot hút/lau bụi kết hợp với drone. Drone giúp đưa robot lên tấm pin, cánh quạt của drone dùng để tăng độ bám chống trượt robot. Thiết kế và thực nghiệm được triển khai chứng minh cho tính khả thi của giải pháp đề nghị.

2. BÀI TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Cơ sở lý thuyết



a)



b)

Hình 6. Phân tích lực trên robot trước (a) và sau (b) khi có lực ép của cánh quạt

Xét trường hợp robot chạy ngang trên mặt phẳng nghiêng với: g là gia tốc trọng trường; μ là hệ số ma sát giữa bánh và tấm pin; θ là góc nghiêng tấm pin; m là khối lượng robot; L là khoảng cách hai bánh xe.

Khi không có lực ép hỗ trợ, điều kiện để robot không trượt là:

$$\mu mg \cos \theta \geq mg \sin \theta \quad (1)$$

Khi θ tăng, P_x tăng nhưng phản lực P_y giảm, làm cho phản lực lên bánh giảm, dẫn đến lực ma sát giảm làm cho robot bị trượt.

Xét phương trình momen quanh điểm tiếp xúc của bánh dưới robot và mặt nghiêng, chiều dương cùng chiều kim đồng hồ, điều kiện để robot không bị lật là:

$$lmg \cos \theta - hmg \sin \theta - LN_u \geq 0 \quad (2)$$

Từ (1) và (2): Nếu tăng khối lượng của robot thì sẽ có phản lực lớn hơn nhưng đồng thời lực kéo xuống P_x cũng tăng; Nếu chỉ tăng hệ số ma sát của bánh thì có thể giúp robot giảm trượt nhưng không giúp chống lật robot.

Khi có lực ép F_a hỗ trợ với ϕ là góc nghiêng giữa drone và đế robot. Điều kiện để robot không trượt trở thành:

$$\mu(mg \cos \theta + F_a \cos \phi) \geq mg \sin \theta - F_a \sin \phi \quad (3)$$

Lực F_a không chỉ giúp làm tăng lực ma sát của robot ở về trái mà còn làm giảm đi lực kéo trượt về phải nếu được điều chỉnh phương tác dụng một góc ϕ . Lúc này, điều kiện chống lật của robot là:

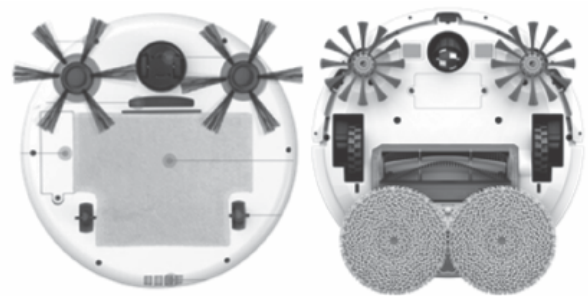
$$lmg \cos \theta - hmg \sin \theta - LN_u' + lF_a \cos \phi + hF_a \sin \phi \geq 0 \quad (4)$$

So với điều kiện chống lật trước, bất đẳng thức (4) dễ thỏa hơn.

Từ thực nghiệm, hệ số ma sát của bánh xe trên bề mặt tấm pin $\mu \approx 0,4$. Do thêm bậc tự do để thay đổi góc ϕ sẽ làm phức tạp thiết kế, ở đây sử dụng (3) với khối lượng robot $m = 2,1\text{kg}$ trong trường hợp không có góc ϕ . Điều kiện chống trượt của robot là $F_a \geq 5,02\text{N}$.

2.2. Robot hút bụi

Hai cấu hình robot hút bụi kết hợp lau được xem xét để sử dụng trong thiết kế là robot BowAI và Bissell Spinwave.



Hình 7. Robot hút bụi dùng trong nghiên cứu

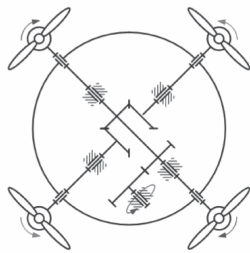
Robot BowAI dẫn động duy nhất bằng bánh trước, lái mù hoàn toàn. Robot sẽ chạy ngẫu nhiên và khi đụng trúng vật cản sẽ đổi sang hướng đi khác. Robot có 2 chổi cạnh và giẻ lau có thể tháo rời, không có chổi giữa. Cả 2 chổi cạnh của robot được lái bằng 1 motor và bộ truyền đai.

Robot Bissell Spinwave dẫn động và điều hướng bằng 2 bánh 2 bên. Giống với các robot hút bụi thông dụng trên thị trường, hai module bánh xe gồm motor truyền động qua một hệ thống bánh răng ra bánh xe. Robot có 2 bánh đặt ở giữa, 2 chổi cạnh lái độc lập bằng 2 motor, chổi chính hỗ trợ đánh bụi lên cho motor hút và 2 giẻ lau.

Thực nghiệm với hai cấu hình robot trên cho thấy vị trí 2 bánh dẫn động ảnh hưởng lớn đến khả năng bám của robot trên tấm pin. Cấu hình dùng để thực nghiệm sử dụng 2 module bánh đặt ở giữa robot và 2 chổi cạnh lái bằng 1 motor qua bộ truyền đai.

2.3. Cơ cấu lật cánh

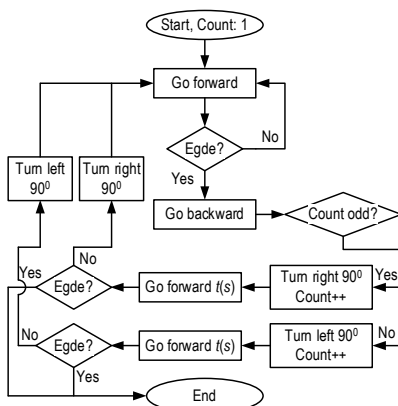
Để robot có thể bay được và đồng thời tạo lực đẩy âm để bám lên tấm pin mặt trời, robot cần phải thay đổi chiều tác dụng của lực gió từ cánh quạt.



Hình 8. Sơ đồ nguyên lý cơ cấu lật cánh

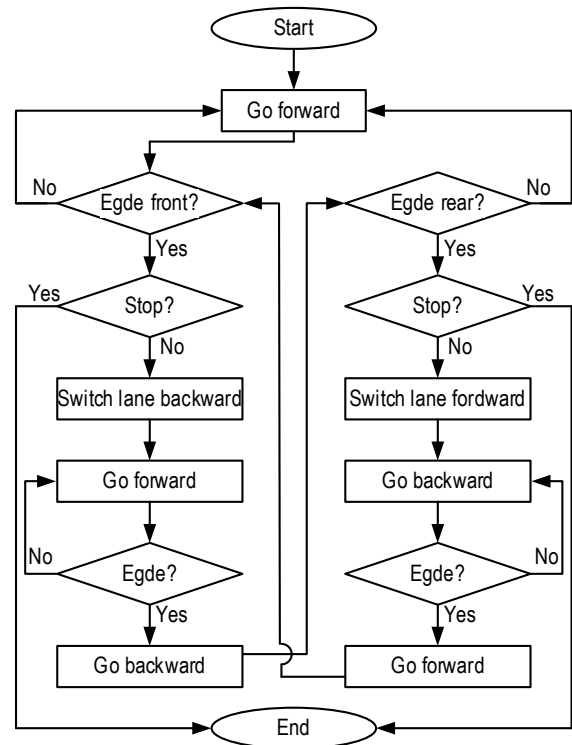
Cơ cấu lật cánh sử dụng bộ bánh răng côn với một motor truyền động được đề xuất. Động cơ servo được sử dụng để lật cánh, ngoài ra còn dùng để giữ các bánh răng không quay khi bay.

2.4. Quỹ đạo của robot



Hình 9. Flow chart quỹ đạo hình chữ S

Theo [8], khi robot hút bụi hoạt động, chúng được lập trình để di chuyển theo nhiều quỹ đạo kết hợp bao gồm: Quỹ đạo ngẫu nhiên, quỹ đạo hình xoắn ốc, quỹ đạo chữ S và quỹ đạo bám tường. Cũng theo tài liệu [10], quỹ đạo chữ S là quỹ đạo ngắn nhất để robot hoàn thành một diện tích, do đó ta chọn quỹ đạo này để thực nghiệm robot.



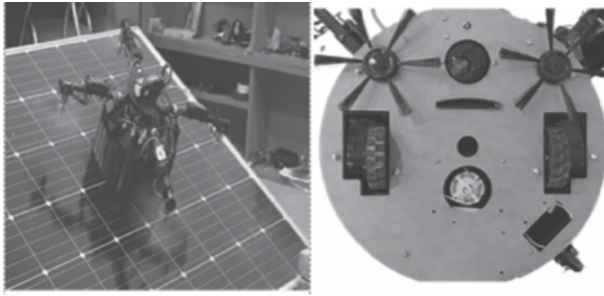
Hình 10. Flow chart quỹ đạo robot lau pin

Trong trường hợp robot không thể di chuyển theo quỹ đạo chữ S, ta thực nghiệm robot bằng quỹ đạo di chuyển giống với robot lau pin mặt trời.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Mô hình thực nghiệm cho ở Hình 11 có các thông số: Đường kính bánh xe 58mm; khoảng cách bánh xe 160mm; khối lượng robot 2,12kg.

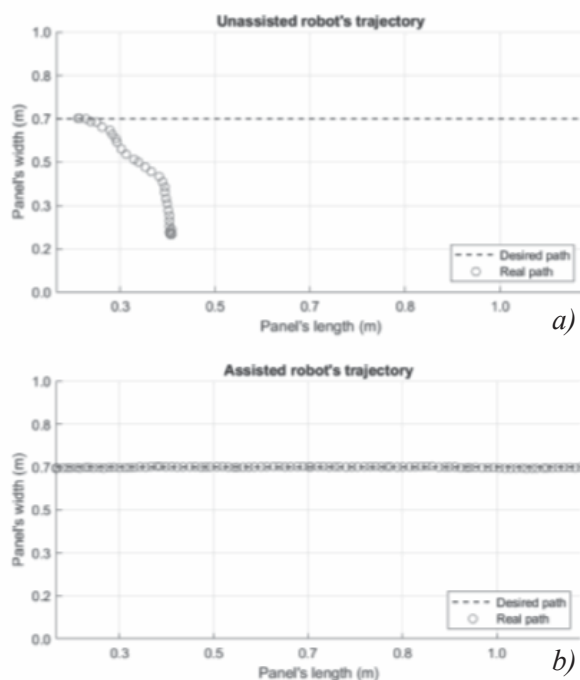




Hình 11. Mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm của robot có thể bay và hoàn thành được quỹ đạo robot lau pin trên tấm pin nghiêng 27° nhưng không hoàn thành được quỹ đạo chữ S, thường bị trượt, rớt khi quay. Khả năng bám của robot bị ảnh hưởng khi xuất hiện các chất bám thử nghiệm như phấn, bột mì,...

Sử dụng camera để ghi lại quỹ đạo di chuyển của robot trên tấm pin bám bụi ở góc nghiêng 22° cho kết quả sau:



Hình 12. Quỹ đạo robot trước (a) và sau (b) khi có lực bổ sung của cánh quạt

Khi không có lực hỗ trợ từ cánh quạt, robot liên tục trượt và di chuyển lệch khỏi quỹ đạo thẳng mong muốn. Khi có lực hỗ trợ từ cánh quạt, robot không còn trượt và di chuyển theo quỹ đạo thẳng mong muốn. Robot được lái bằng tay và sai số của robot trên quỹ đạo được cho trong Hình 13.



Hình 13. Sai số của robot trên quỹ đạo

Robot lệch khỏi quỹ đạo về bên trái xa nhất 3,82mm và về bên phải 5,23mm. Để robot bám quỹ đạo tốt hơn, có thể sử dụng bộ điều khiển để lái robot tự động theo quỹ đạo mong muốn.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất kết hợp robot hút bụi và drone cho bài toán vệ sinh định kỳ các tấm pin năng lượng mặt trời trong hộ gia đình. Mô hình thực nghiệm có thể hoàn thành quỹ đạo trên tấm pin nghiêng 27° khi bánh xe sạch và 22° khi bánh xe dơ. Cơ cấu lật cánh có thể thay đổi phương chiều tác dụng của lực gió và không làm ảnh hưởng đến khả năng bay của robot. Mô hình còn nhiều khuyết điểm, cần thiết kế lại bộ bánh răng cho cơ cấu lật cánh, bộ truyền đai để lái chổi, động cơ hút còn yếu, và khả năng bám của robot khi có chất dơ cần được cải thiện.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2023-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **11/9/2023**

Ngày phản biện: **08/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. S.Ghazi và cộng sự, “*Dust Effect on Flat Surfaces – A Review Paper*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 742-751, Vol.33, 2014.
- [2]. H.A Kazem và cộng sự, “*A Review of Dust Accumulation and Cleaning Methods for Solar Photovoltaic Systems*”, Journal of Cleaner Production, Vol.276, pp.576-604, 2020.
- [3]. B.O Olorunfemi và cộng sự, “*Solar Panels Dirt Monitoring and Cleaning for Performance Improvement: A Systematic Review on Smart Systems*”, Sustainability, pp.1-27, Vol.14, Iss.17, 2022.
- [4]. First Solar, FS-Series PV Module Cleaning Guidelines, pp.1-6, PD-5-804 Rev 3.4, 2017.
- [5]. S. Rehman và cộng sự, “*Cleaning of Photovoltaic Panels Utilizing the Downward Thrust of a Drone*”, Energies, pp.1-14, Vol.15, Iss.21, 2022.
- [6]. Nguyễn Văn Bình Dương, Phan Hoàng Long, và Nguyễn Tấn Tiến, “*Khảo sát thực trạng các cấu trúc lắp đặt tấm pin mặt trời thông dụng tại Việt Nam*”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, trang 54-63, Số 299+300, 2023.
- [7]. Y. Nishimura and T. Yamaguchi, “*Development of a Steep Slope Mobile Robot with Propulsion Adhesion*”, 2020 IEEE/RSJ Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), Las Vegas, NV, USA, 2020, pp.2592-2599.
- [8]. K. M. Hasan, Abdullah-Al-Nahid and K. J. Reza, “*Path planning algorithm development for autonomous vacuum cleaner robots*”, 2014 Int’l Conf. on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), Dhaka, Bangladesh, 2014, pp.1-6.