

HỆ THỐNG ĐIỀU HƯỚNG TẮM PIN MẶT TRỜI TỰ ĐỘNG TÍCH HỢP THEO DÕI VÀ ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG IOT

AUTOMATIC SOLAR PANEL ORIENTATION SYSTEM WITH INTEGRATED MONITORING AND CONTROL USING IOT

Hoàng Anh Dũng¹, Phạm Tiến Huy¹, Vũ Duy Thuận²,

Từ Viết Hoàng¹, Phạm Văn Hải¹, Ngô Quốc Hoàn¹

¹Trường Đại học Mở Hà Nội, ²Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 09/6/2025, Ngày chấp nhận đăng: 11/8/2025

Tóm tắt: Hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời tự động tích hợp theo dõi và điều khiển sử dụng IOT là một hệ thống giám sát và điều khiển thông minh dành cho tấm pin năng lượng mặt trời, được phát triển nhằm tối ưu hóa hiệu suất thu nhận bức xạ mặt trời thông qua cơ chế điều chỉnh hai trục tự động. Hệ thống sử dụng vi điều khiển Arduino Uno R3 kết hợp với ESP8266 để thu thập dữ liệu từ các cảm biến, truyền thông qua giao thức MQTT và giám sát thời gian thực trên nền tảng HiveMQ Cloud. Cơ cấu định hướng tấm pin được điều khiển bởi hai servo SG90 dựa trên dữ liệu từ 4 cảm biến ánh sáng quang trở, cho phép hệ thống tự động định vị theo hướng ánh sáng mạnh nhất (chế độ Auto). Ngoài ra, hệ thống hỗ trợ chế độ điều khiển thủ công (Manual) thông qua giao diện Node-RED Dashboard, cho phép người dùng điều chỉnh trực tiếp góc nghiêng trục X và Y qua các thanh trượt. Hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời sử dụng 7 loại cảm biến môi trường và hiệu suất: DHT11 (nhiệt độ, độ ẩm), TSL2561 (cường độ ánh sáng), MPU6050 (góc nghiêng), VEML6070 (tia UV), INA3221 (điện áp, dòng điện và công suất tức thời của 2 tấm pin Tĩnh và Tự Động hướng tới ánh sáng mạnh nhất), nhằm cung cấp dữ liệu toàn diện về điều kiện môi trường và hoạt động của hệ thống. Dữ liệu được đóng gói theo chuẩn JSON và truyền qua giao tiếp UART giữa Arduino và ESP8266, đảm bảo khả năng mở rộng và tích hợp với các hệ thống giám sát IoT khác. Hệ thống được thiết kế nhỏ gọn, tiêu tốn năng lượng thấp và dễ triển khai, phù hợp với các ứng dụng giáo dục, nghiên cứu IoT, cũng như phát triển các giải pháp năng lượng thông minh và bền vững trong thực tiễn.

Từ khoá: Internet của mọi vật, Giao thức truyền tải tin nhắn hàng đợi, Điều khiển tự động.

Abstract: The automatic solar panel orientation system with integrated monitoring and control using IoT is an intelligent monitoring and control system for solar panels, developed to optimize solar radiation capture efficiency through an automatic two-axis adjustment mechanism. The system uses an Arduino Uno R3 microcontroller combined with ESP8266 to collect data from sensors, communicate via the MQTT protocol, and monitor in real-time on the HiveMQ Cloud platform. The panel orientation mechanism is controlled by two SG90 servos based on data from four photoresistor light sensors, allowing the system to automatically position itself towards the strongest light (Auto mode). Additionally, the system supports manual control (Manual) via a Node-RED Dashboard interface, enabling users to directly adjust the X and Y axis angles using sliders. The solar panel orientation system utilizes seven types of environmental and performance sensors: DHT11 (temperature, humidity), TSL2561 (light intensity), MPU6050 (tilt angle), VEML6070 (UV radiation), and INA3221 (instantaneous voltage, current, and power for both a fixed and an automatically oriented panel), to provide comprehensive data on environmental conditions and system operation. Data is packaged in

JSON format and transmitted via UART communication between Arduino and ESP8266, ensuring scalability and integration with other IoT monitoring systems. The system is designed to be compact, low-power, and easy to deploy, suitable for educational applications, IoT research, as well as the development of smart and sustainable energy solutions in practice.

Keywords: IoT (Internet of Things), MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), Control Automation.

I. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh nhu cầu sử dụng năng lượng tái tạo ngày càng gia tăng nhằm hướng đến mục tiêu phát triển bền vững, việc nâng cao hiệu suất thu năng lượng từ tấm pin mặt trời trở thành một thách thức đáng quan tâm. Một trong những giải pháp hiệu quả để tăng hiệu suất là sử dụng hệ thống theo dõi mặt trời (solar tracking), giúp tấm pin tự động điều chỉnh hướng theo vị trí của mặt trời nhằm tối đa hóa lượng bức xạ nhận được trong ngày [1].

Tuy nhiên, các hệ thống theo dõi mặt trời hiện có thường có chi phí cao, phức tạp trong lắp đặt và vận hành, gây khó khăn trong việc triển khai tại quy mô nhỏ hoặc trong giáo dục, nghiên cứu. Để giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu đã phát triển Solar Checker Mini – một mô hình hệ thống giám sát và điều khiển tấm pin mặt trời hai trục, tích hợp công nghệ IoT, có khả năng giám sát môi trường và điều khiển thông minh theo thời gian thực.

Hệ thống kết hợp vi điều khiển Arduino Uno R3 với ESP8266 để thu thập, xử lý và truyền dữ liệu từ các cảm biến môi trường và cảm biến định hướng, đồng thời điều khiển hai động cơ servo định vị tấm pin theo trục X và Y. Người dùng có thể chuyển đổi giữa chế độ tự động (Auto) và điều khiển thủ công (Manual) thông qua

Node-RED Dashboard, sử dụng kết nối MQTT qua nền tảng HiveMQ Cloud [2].

Với thiết kế nhỏ gọn, chi phí thấp và khả năng mở rộng cao, Solar Checker Mini không chỉ phù hợp cho nghiên cứu và giảng dạy trong lĩnh vực IoT và năng lượng tái tạo, mà còn có tiềm năng ứng dụng thực tiễn trong các hệ thống năng lượng mặt trời quy mô lớn hơn.

II. CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT CHO ỨNG DỤNG.

2.1 Tình hình nghiên cứu hiện nay

Hệ thống theo dõi tấm pin mặt trời (solar tracking system) là một giải pháp đã được nghiên cứu và ứng dụng nhằm tăng hiệu suất thu năng lượng từ bức xạ mặt trời. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc sử dụng cơ chế theo dõi một hoặc hai trục có thể giúp gia tăng sản lượng điện từ 20% đến 40% so với các hệ thống cố định. Trên thế giới, các mô hình này đã được triển khai ở quy mô lớn, tuy nhiên vẫn còn nhiều hạn chế trong việc ứng dụng cho các hệ thống nhỏ hoặc cá nhân do chi phí cao và yêu cầu kỹ thuật phức tạp.

Gần đây, xu hướng tích hợp công nghệ Internet of Things (IoT) vào các hệ thống năng lượng tái tạo đang ngày càng phổ biến. Nhiều mô hình đã sử dụng các vi điều khiển như Arduino, ESP8266 hoặc ESP32, kết hợp với giao thức MQTT, để thu thập

dữ liệu cảm biến và điều khiển tấm pin từ xa qua nền tảng như Node-RED, Blynk hoặc ThingSpeak [2]. Các cảm biến thường được tích hợp bao gồm cảm biến ánh sáng (LDR, TSL2561), cảm biến môi trường (DHT11, INA3221, MPU6050, UV), và hệ thống truyền thông không dây.

Tuy nhiên, một số nghiên cứu hiện tại vẫn chưa giải quyết được bài toán đồng bộ giữa thu thập dữ liệu, điều khiển thời gian thực và giao diện người dùng thân thiện. Ngoài ra, ít có mô hình tích hợp cả hai chế độ điều khiển: tự động (dựa trên cảm biến ánh sáng) và thủ công (điều chỉnh qua giao diện trực quan). Điều này mở ra nhu cầu phát triển các hệ thống theo dõi mặt trời mini, chi phí thấp, có khả năng tương tác cao, phù hợp với mục tiêu giáo dục, nghiên cứu và triển khai thực tiễn quy mô nhỏ.

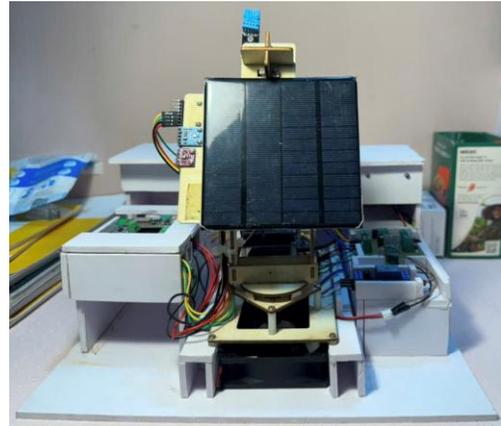
2.2 Các tính năng và thông số chính của hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời tự động tích hợp theo dõi và điều khiển từ xa sử dụng IoT

Các thông số cảm biến như: Nhiệt độ, độ ẩm, điện áp, dòng điện, công suất tấm pin, cường độ ánh sáng, cường độ tia UV, góc động cơ trục X, Trục Y, Góc Pitch, góc Roll được đưa ra giao diện điều khiển trực quan để theo dõi và sử dụng.

Hệ thống có 2 chế độ hoạt động:

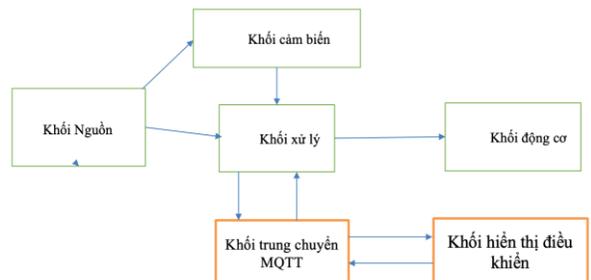
- Chế độ tự động: Hệ thống tự động điều hướng tấm pin mặt trời đến nơi có ánh sáng mạnh nhất, khi nhiệt độ hoặc độ ẩm môi trường vượt quá mức an toàn cho tấm pin thì sẽ lập tức bật quạt tản nhiệt.

- Chế độ thủ công: Hệ thống sẽ nhận các lệnh điều khiển từ giao diện điều khiển Node-Red để di chuyển tấm pin, bật tắt quạt tản nhiệt cho hệ thống.



Hình 1. Hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời tích hợp theo dõi và điều khiển sử dụng IoT.

Trong hệ thống sử dụng nhiều cảm biến với nhiều công dụng khác nhau. Bằng cách dựa vào 4 cảm biến ánh sáng đặt ở 4 hướng khác nhau hệ thống này có thể điều hướng tấm pin mặt trời tự động hướng tới nơi có ánh sáng mặt trời mạnh nhất [3]. Các thành phần chính của hệ thống là cảm biến, động cơ bước, mạch điều khiển chính. Hệ thống sử dụng 2 bộ vi điều khiển cho 2 việc thu thập giá trị cảm biến điều khiển động cơ, và kết nối wifi truyền dữ liệu lên máy chủ trung gian.



Hình 2. Sơ đồ khối của hệ thống

Khối xử lý sẽ thu thập các giá trị cảm biến, nếu ở chế độ tự động sẽ tính toán điều hướng tấm pin và sau đó gửi các giá trị cảm biến còn lại lên khối trung chuyển MQTT và sau đó đưa ra khối giao diện điều khiển. Khi ở chế độ thủ công hệ thống sẽ nhận các lệnh từ khối giao diện điều khiển thông qua khối trung chuyển MQTT sau đó chuyển về khối xử lý để điều khiển động cơ, quạt.

* Khối cảm biến



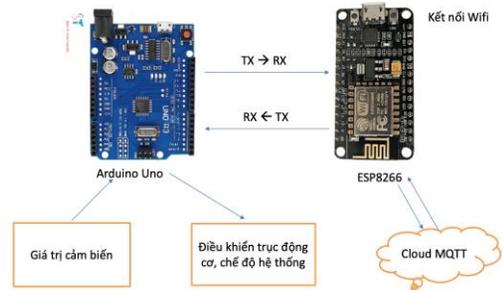
Hình 3. Các cảm biến được sử dụng

Các giá trị cảm biến sẽ được thu thập và gửi về khối xử lý để gửi lên giao diện điều khiển:

- Cảm biến quang trở LDR: Sử dụng 4 cảm biến quang trở LDR ở 4 hướng khác nhau để xác định nơi có ánh sáng mạnh nhất. Theo [6], cảm biến INA3221 được dùng để đo dòng điện, điện áp rồi sau đó tính công suất của tấm pin mặt trời đặt cố định và tấm pin tự động. Theo [7], cảm biến TSL2561 dùng để đo giá trị cường độ ánh sáng. Theo [8], cảm biến Veml6070 dùng để đo cường độ tia UV, cảnh báo mức độ tia UV cao tới con người. Theo [9], cảm biến MPU6050 dùng để đo góc dọc (Pitch: Xoay lên xuống), góc ngang (Roll: Nghiêng trái phải) của tấm pin mặt trời. Theo [10] cảm biến DHT11 dùng để đo nhiệt độ, độ ẩm bề

mặt tấm pin, dựa vào đó bật tắt quạt thông gió và tản nhiệt cho tấm pin để tối ưu hoá năng lượng sản sinh ra.

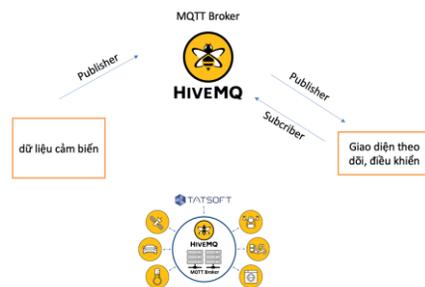
* Khối xử lý



Hình 4. Khối xử lý hệ thống

Khối xử lý Arduino R3 [4] thu thập dữ liệu cảm biến quang trở LDR để điều khiển động cơ điều hướng tấm pin trong chế độ tự động, đồng thời gửi các giá trị cảm biến khác sang ESP8266 [5] kết nối wifi và đẩy lên máy chủ MQTT. Ở chế độ thủ công khối xử lý sẽ nhận các giá trị từ giao diện điều khiển thông qua máy chủ MQTT để điều khiển động cơ.

* Khối trung chuyển MQTT



Hình 5. Khối trung chuyển MQTT

Website HiveMQ cho phép sử dụng giao thức MQTT 1 cách hoàn toàn miễn phí [11], là nơi giao nhau của hệ thống và giao diện điều khiển.

Website HiveMQ

* Khối động cơ quạt

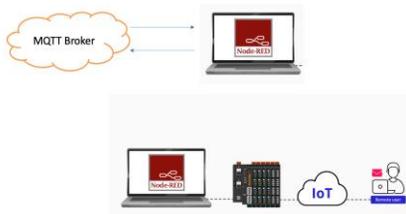


Trục X : Xoay trái phải 0→180 độ
Trục Y: Xoay lên xuống 110→180 độ

Hình 6. Khối động cơ, quạt tản nhiệt

Sử dụng 2 động cơ Servo tương ứng với 2 trục hệ thống: Trục X (xoay trái phải → phải tương ứng 0→180 độ). Trục Y (xoay xuống lên→ tương ứng 110→180 độ). Do panel cố định tám pin trục Y dễ bị kích vào trục hệ thống khi quay đủ toạ độ từ 0→160 nên phải hạn chế góc quay từ 110→180 độ để đảm bảo an toàn cho cho hệ thống không bị rơi, gãy panel. Sử dụng quạt tản nhiệt 12V BLDC motor, quạt hoạt động một cách êm ái, không gây ra tiếng ồn. Do sử dụng nguồn 12V nên cần Relay để điều khiển bật tắt quạt cho hệ thống.

* Khối giao diện điều khiển



Hình 7. Giao diện điều khiển Node-RED

Theo [12], Node-RED là một nền tảng lập trình trực quan dựa trên dòng dữ liệu (flow-based programming), API và dịch vụ một cách dễ dàng bằng cách kéo thả các khối (Node). Trong hệ thống NodeRED sẽ

nhận các dữ liệu cảm biến để đưa ra hiển thị và gửi các lệnh điều khiển về máy chủ MQTT là hive MQ để điều khiển hệ thống ở chế độ thủ công.

* Khối nguồn



Hình 8. Nguồn cấp của hệ thống

Năng lượng từ tám pin mặt trời thông qua mạch sạc CN3975 sẽ nạp điện cho pin Lithium sau đó cấp nguồn cho khối xử lý.

Biến áp 220VAC đưa về 12VAC sau đó qua mạch chuyển đổi áp và ổn định điện áp 12VDC để cấp nguồn quạt tản nhiệt.

2.3 Thuật toán tự động điều hướng tám pin



- Vị trí:
- TL : Trên trái
 - TR : Trên phải
 - BL : Dưới trái
 - BR : Dưới phải

Hình 9. Vị trí đặt cảm biến ánh sáng

* Độ chênh lệch ánh sáng theo trục dọc:

Theo [13],

$$\text{diffY} = ((BL \ BR) / 2) - ((TL + TR) / 2) \quad (1)$$

- $(TL+TR)/2$: Ánh sáng trung bình của hai cảm biến phía trên.

- $(BL+BR)/2$: Ánh sáng trung bình của hai cảm biến phía dưới.

- Dấu trừ giúp xác định hướng di chuyển của động cơ servo trực dọc.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trực dọc “diffY” > 0 → Ánh sáng phía dưới mạnh hơn phía trên → Tấm pin cần xoay xuống.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trực dọc “diffY” < 0 → Ánh sáng phía dưới mạnh hơn phía trên → Tấm pin cần nghiêng xuống.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trực dọc “diffY” = 0 → Ánh sáng trên và dưới bằng nhau → Không cần điều chỉnh theo trục Y.

* Độ chênh lệch ánh sáng theo trục ngang:
Theo [13],

$$\text{diffX} = ((TL+BL)/2) - ((TR+BR)/2) \quad (2)$$

- $(TL+BL)/2$: Ánh sáng trung bình của hai cảm biến bên trái.

- $(TR+BR)/2$: Ánh sáng trung bình của hai cảm biến bên phải.

- Dấu trừ giúp xác định hướng di chuyển của động cơ servo theo trục hoành.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trục ngang “diffX” > 0 → Ánh sáng bên trái mạnh hơn bên phải → Tấm pin cần sang trái.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trục hoành “diffX” < 0 → Ánh sáng bên phải mạnh hơn bên trái → Tấm pin cần sang phải.

Nếu độ chênh lệch ánh sáng trục ngang “diffX” = 0 → Ánh sáng hai bên bằng nhau → Không cần điều chỉnh theo trục X.

Trong hệ thống, việc điều hướng tấm pin được thực hiện dựa trên sự chênh lệch cường độ ánh sáng thu nhận từ bốn cảm biến ánh sáng được gắn tại các hướng Đông, Tây, Nam, Bắc. Việc xác định một ngưỡng chênh lệch ánh sáng cụ thể, thường từ 10–15 đơn vị ADC để tránh việc điều hướng liên tục gây tiêu tốn năng lượng không cần thiết.

Khi sự chênh lệch vượt qua ngưỡng này, hệ thống thực hiện một bước điều chỉnh nhỏ, với góc quay mỗi lần khoảng 2–5 độ cho mỗi trục (servoX và servoY). Góc quay này được lựa chọn dựa trên thực nghiệm nhằm đảm bảo đạt được hướng tối ưu mà vẫn giữ cho chuyển động của tấm pin ổn định và tiết kiệm năng lượng. Sau mỗi lần điều chỉnh, hệ thống tiếp tục so sánh lại giá trị cường độ ánh sáng để quyết định bước tiếp theo.

2.4 Thuật toán tính góc nghiêng của tấm pin

Công thức tính toán góc nghiêng của cảm biến MPU6050:

- Góc Pitch (đo nghiêng trước sau):

$$\text{Pitch} = \arctan\left(\frac{-Ax}{2\sqrt{Ay^2 + Az^2}}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

Ax: gia tốc đo được trên trục X.

Ay, Az: gia tốc trên trục Y, Z dùng để tính tổng hợp.

Dấu (-) trước Ax: Đảm bảo hướng Pitch đúng (nghiêng về trước là dương, ngược lại là âm).

Ý nghĩa: Nếu tấm pin nghiêng về phía trước, Pitch dương. Nếu tấm pin nghiêng về phía sau, Pitch âm.

- Góc Roll (đo nghiêng trái phải).

$$\text{Roll} = \arctan\left(\frac{A_y}{A_z}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

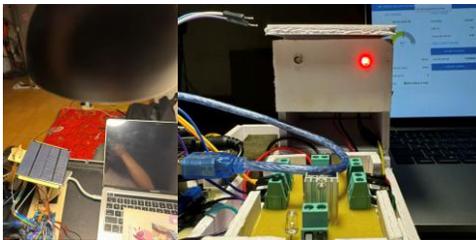
Ay: Gia tốc đo được trên trục Y.

Az: Gia tốc đo được trên trục Z.

Ý nghĩa: Nếu tấm pin nghiêng sang trái, giá trị Roll sẽ dương. Nếu tấm pin nghiêng sang phải, giá trị Roll sẽ âm.

III. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

3.1 Chế độ tự động của hệ thống

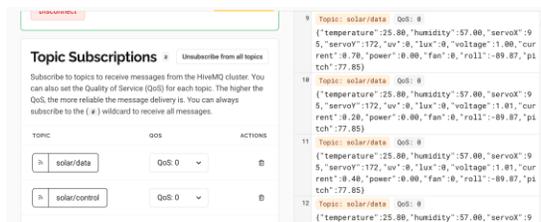


Hình 10. Chế độ thủ công hệ thống

Ở chế độ tự động đèn báo hiệu màu đỏ sáng, hệ thống tự điều hướng tấm pin mặt trời đến nơi có ánh sáng mạnh nhất.

Tự bật tắt quạt tản nhiệt nếu nhiệt độ và độ ẩm vượt quá ngưỡng đặt.

Các giá trị cảm biến sẽ được chuyển lên máy chủ MQTT broker.



Hình 11. Máy chủ MQTT Broker Hive MQ

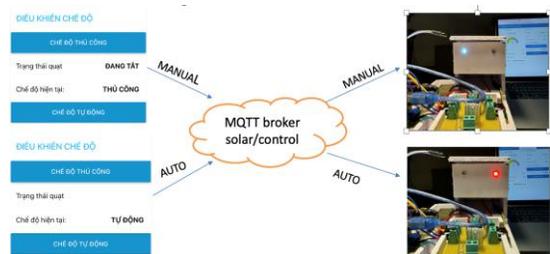
Topic solar/data nhận các giá trị cảm biến và sau đó chuyển đến giao diện theo dõi và điều khiển.

Topic solar/control nhận các lệnh điều khiển từ giao diện điều khiển sau đó chuyển về hệ thống xử lý.

3.2 Chế độ thủ công của hệ thống

Ở chế độ thủ công gửi các lệnh điều khiển như: AUTO (Hệ thống chuyển sang chế độ tự động), MANUAL (Hệ thống chuyển sang chế độ thủ công), SET_X Toạ độ góc (Động cơ trục X di chuyển đến góc điều khiển), SET_Y Toạ độ góc (Động cơ trục Y di chuyển đến góc điều khiển), FAN_ON (bật quạt), FAN_OFF (Tắt quạt).

* Điều khiển chế độ hệ thống



Hình 12. Điều khiển chế độ hệ thống

Giao diện điều khiển Node-RED gửi lệnh MANUAL lên MQTT broker với topic: solar/control thì hệ thống chuyển sang chế độ thủ công đèn trắng sáng. Gửi lệnh AUTO hệ thống chuyển sang chế độ tự động, đèn đỏ sáng.

* Điều khiển trực hệ thống

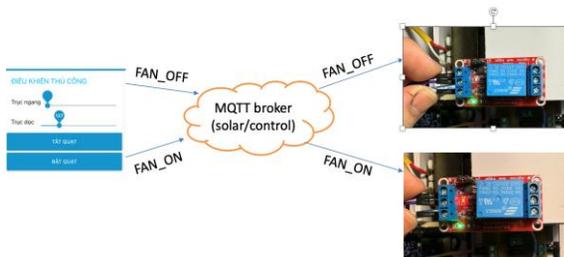


Hình 13. Điều khiển trực hệ thống

Giao diện điều khiển NodeRED gửi lệnh để điều khiển động cơ servo.

Như hình 13: Giao diện Node-RED gửi lệnh SET_X 100 lên máy chủ MQTT Broker với topic: solar/control và sau đó gửi về bộ xử lý để quay động cơ servo đến góc 100 độ. Tương tự lệnh SET_Y 165 động cơ servo quay đến góc 165 độ.

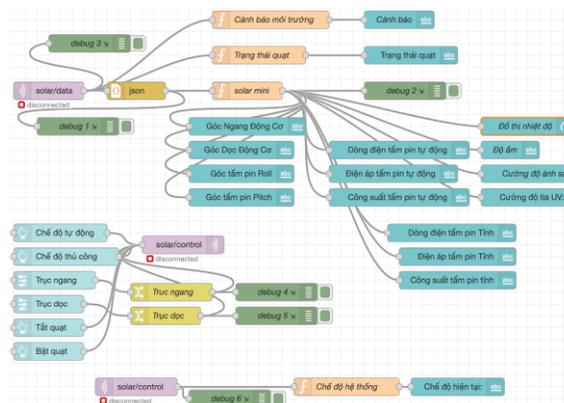
* Điều khiển bật tắt quạt



Hình 14. Điều khiển bật tắt quạt

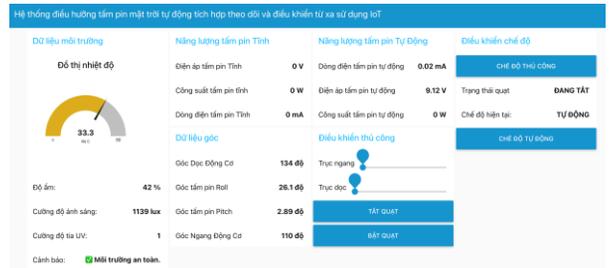
Giao diện NodeRED gửi lệnh FAN_ON lên máy chủ MQTT Broker với topic: solar/control và gửi về bộ xử lý để bật Relay cấp nguồn cho quạt tản nhiệt. Tương tự, lệnh FAN_OFF tắt Relay ngừng cấp nguồn cho quạt tản nhiệt.

3.3 Giao diện theo dõi và điều khiển của hệ thống



Hình 15. Tạo các node cho giao diện điều khiển và theo dõi của hệ thống

Bằng cách kết nối các node lại với nhau và đưa ra giao diện Dashboard để hiển thị.



Hình 16. Giao diện điều khiển và theo dõi

Ở giao diện điều khiển còn tích hợp thêm những cảnh báo cần thiết về môi trường. Nếu nhiệt độ, độ ẩm, cường độ tia UV mà lớn hơn ngưỡng đặt thì sẽ thực hiện cảnh báo trên màn hình hiển thị. Còn nếu như bình thường thì sẽ báo an toàn.

3.4 Mức chênh lệch điện áp hệ thống

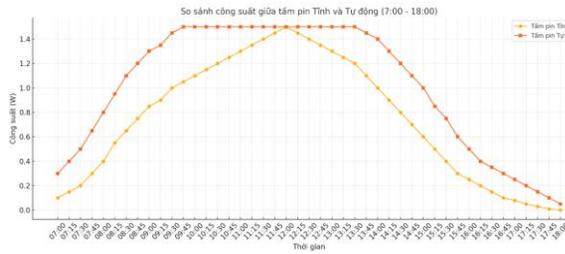
Năng lượng tấm pin Tĩnh		Năng lượng tấm pin Tự Động	
Điện áp tấm pin Tĩnh	0 V	Dòng điện tấm pin tự động	0.02 mA
Công suất tấm pin tĩnh	0 W	Điện áp tấm pin tự động	6.49 V
Dòng điện tấm pin Tĩnh	0 mA	Công suất tấm pin tự động	0 W

Hình 17. Giao diện hiển thị năng lượng 2 pin

Module cảm biến INA3221 đo dữ liệu điện áp, dòng điện rồi sau đó tính công suất của 2 tấm pin Tĩnh và Tự Động.

Cả 2 tấm pin được sử dụng để so sánh có cùng công suất tối đa là 1,5W trong điều kiện thời tiết nắng gắt.

*Dữ liệu so sánh năng lượng của 2 tấm pin trong 1 ngày nắng:



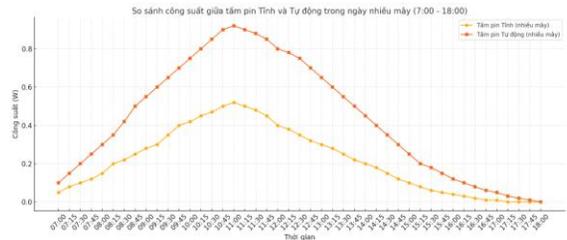
Hình 18. Dữ liệu năng lượng 2 tấm pin Tĩnh và Tự Động trong 1 ngày nắng gắt

Trong điều kiện nắng gắt, hai tấm pin mặt trời đều cho thấy hiệu suất hoạt động cao hơn rõ rệt so với ngày nhiều mây. Tấm pin tĩnh có công suất tăng đều từ sáng sớm, đạt giá trị tối đa khoảng 1.25W vào thời điểm 12h00 trưa – gần sát với công suất định mức là 1.5W. Công suất trung bình trong suốt khoảng thời gian từ 7h00 đến 18h00 là khoảng 0.93W, dẫn đến tổng năng lượng thu được trong ngày đạt khoảng 10.23Wh. Đây là hiệu suất rất tốt với một hệ thống cố định, do điều kiện ánh sáng trong ngày rất lý tưởng và liên tục.

Tuy nhiên, tấm pin tự động tiếp tục cho thấy ưu thế vượt trội. Với khả năng liên tục điều chỉnh theo hướng mặt trời, công suất của hệ thống tự động không chỉ đạt cực đại 1.5W vào buổi trưa, mà còn giữ được công suất cao hơn 1.3W trong nhiều giờ liên tục, từ khoảng 9h00 đến 15h00. Trung bình cả ngày, tấm pin tự động đạt công suất khoảng 1.21W, tương ứng tổng năng lượng thu được lên tới 13.31Wh – cao hơn khoảng 30% so với tấm pin tĩnh. Điều này khẳng định rằng, ngay cả trong điều kiện thời tiết tối ưu, hệ thống tự động vẫn phát

huy hiệu quả vượt trội, nhờ tận dụng tốt hơn ánh sáng trực tiếp trong suốt ngày dài.

*Dữ liệu so sánh năng lượng của 2 tấm pin trong 1 ngày thời tiết bất thường (nhiều mây).



Hình 19. Dữ liệu năng lượng 2 tấm pin trong một ngày nhiều mây

Trong điều kiện thời tiết nhiều mây, biểu đồ cho thấy công suất phát ra từ hai tấm pin – tĩnh và tự động – có sự chênh lệch đáng kể. Tấm pin tĩnh có công suất dao động nhẹ, đạt giá trị tối đa khoảng 0.52W vào khoảng giữa trưa và trung bình chỉ ở mức 0.26W trong suốt thời gian từ 7h00 đến 18h00. Tổng năng lượng mà tấm pin tĩnh thu được trong ngày nhiều mây vào khoảng 2.86Wh. Mây che phủ khiến ánh sáng không ổn định, và do tấm pin tĩnh không thay đổi góc, nên hiệu suất năng lượng bị hạn chế đáng kể.

Ngược lại, tấm pin tự động phát huy rõ rệt hiệu quả trong cùng điều kiện. Nhờ khả năng xoay theo hướng mặt trời, nó tận dụng tốt hơn ánh sáng tán xạ từ nhiều hướng. Công suất đạt đỉnh ở mức 0.92W, và giữ ổn định trên 0.8W trong suốt khoảng từ 10h00 đến 13h30. Trung bình cả ngày, công suất của tấm pin tự động đạt khoảng 0.56, tương ứng với tổng năng lượng thu được khoảng 6.16Wh – cao hơn hơn gấp đôi so với tấm pin tĩnh. Điều này

cho thấy, trong điều kiện bất lợi như nhiều mây, hệ thống pin mặt trời tự động vẫn có khả năng duy trì hiệu suất cao và tối ưu hóa thu năng lượng tốt hơn hẳn hệ thống tĩnh.

Tóm lại:

Dữ liệu đo đạc cho thấy tấm pin mặt trời tự động (có cơ cấu điều chỉnh theo hướng ánh sáng) luôn đạt công suất, điện áp và dòng điện cao hơn so với tấm pin cố định trong hầu hết các thời điểm trong ngày. Đặc biệt, vào buổi sáng sớm và chiều muộn – khi ánh sáng có góc chiếu thấp – hệ thống tự động thể hiện ưu thế rõ rệt nhờ khả năng điều chỉnh góc nghiêng để tối ưu hóa thu nhận ánh sáng. Trong khi đó, tấm pin cố định bị hạn chế bởi vị trí không thay đổi, dẫn đến hiệu suất thấp hơn đáng kể.

Trong khung giờ giữa ngày (10h–14h), dù cả hai hệ thống đều tiếp nhận ánh sáng gần như trực tiếp, tấm pin tự động vẫn duy trì công suất cao hơn nhờ khả năng liên tục điều chỉnh theo hướng chiếu tối ưu nhất của mặt trời. Ngoài ra, đường công suất của hệ thống tự động ổn định và mượt hơn, trong khi hệ thống cố định dao động mạnh và chỉ đạt đỉnh hiệu suất trong thời gian ngắn.

Mặc dù chưa khâu trừ phần năng lượng tiêu thụ của cơ cấu điều khiển định hướng tấm pin, kết quả vẫn cho thấy sản lượng điện thu được của hệ thống tự động cao hơn rõ rệt so với hệ thống cố định. Điều này phản ánh tiềm năng nâng cao hiệu suất khi áp dụng cơ chế theo dõi hướng sáng, đặc biệt nếu hệ thống điều khiển được tối ưu để tiêu thụ năng lượng thấp. Nhờ khả năng tự điều chỉnh theo thời gian thực, hệ

thống giúp tăng thời gian thu nhận bức xạ hiệu quả và duy trì công suất ổn định trong điều kiện thời tiết thay đổi.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày chi tiết quá trình thiết kế, xây dựng và thử nghiệm hệ thống điều hướng tấm pin mặt trời tích hợp theo dõi và điều khiển từ xa sử dụng IoT – một giải pháp giám sát và điều khiển hướng thu năng lượng cho các tấm pin mặt trời quy mô nhỏ. Hệ thống được tích hợp nhiều cảm biến như DHT11, MPU6050, VEML6070, TSL2561 và INA3221 nhằm thu thập các thông số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, góc nghiêng, tia UV, dòng điện và điện áp. Dữ liệu được xử lý bởi vi điều khiển Arduino Uno R3 và truyền qua ESP8266 lên nền tảng đám mây thông qua giao thức MQTT, giúp người dùng có thể giám sát thông tin theo thời gian thực trên giao diện trực quan Node-RED Dashboard.

Đặc biệt, hệ thống hỗ trợ hai chế độ vận hành: tự động điều chỉnh hướng tấm pin theo ánh sáng tối ưu bằng các động cơ servo XY, và điều khiển thủ công thông qua giao diện điều khiển từ xa. Việc áp dụng chuẩn truyền thông MQTT và nền tảng HiveMQ Cloud cho phép mở rộng khả năng kết nối trong các hệ thống IoT quy mô lớn.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, tấm pin điều hướng tự động thu được lượng điện năng trung bình cao hơn 25–35% so với tấm pin tĩnh trong cùng điều kiện ánh sáng và thời gian đo. Điều này khẳng định tính hiệu quả rõ rệt của hệ thống trong việc tối

ưu hóa thu năng lượng mặt trời, đặc biệt trong các thời điểm cường độ ánh sáng thay đổi trong ngày. Ngoài ra, khả năng chuyển đổi linh hoạt giữa hai chế độ hoạt động cũng giúp hệ thống phù hợp với nhiều mục đích sử dụng khác nhau, từ nghiên cứu, giáo dục đến ứng dụng dân dụng.

Hệ thống hoạt động ổn định và cho thấy tính khả thi cao trong việc triển khai tại các mô hình học tập, nghiên cứu hoặc ứng dụng dân dụng nhỏ lẻ, nơi yêu cầu giải pháp tiết kiệm chi phí, dễ lắp đặt và có tính

mở rộng. Ngoài khả năng theo dõi hiệu quả bức xạ mặt trời để tối ưu hóa lượng điện thu được, hệ thống còn có tiềm năng tích hợp vào các ứng dụng năng lượng tái tạo thông minh với sự hỗ trợ của AI, học máy hoặc phân tích dữ liệu lớn trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả bài báo xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Mở Hà Nội thông qua đề tài cấp Trường mã số MHN2024-03.44.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. K. M. Salleh, N. A. Rahim, and M. S. A. Zabidi, "Development of a dual-axis solar tracking system based on Arduino," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 17, no. 2, pp. 897–904, Feb. 2020.
- [2] B. T. Hưng and N. Đ. Mạnh, "Ứng dụng MQTT trong giám sát và điều khiển thiết bị qua Internet sử dụng Arduino và ESP8266," *Tạp chí Tự động hóa ngày nay*, vol. 238, no. 3, pp. 34–38, Mar. 2021.
- [3] C. Hoàng Minh, *Ứng dụng MQTT và Node-RED trong giám sát IoT*, Luận văn tốt nghiệp, Đại học Công nghệ Thông tin, TP.HCM, 2022.
- [4] R. Blum & C. Bresnahan, *Arduino Programming for Beginners*, Apress, 2021.
- [5] A. Naik, V. B. Ghadyalpatil, and A. Kumar, "IoT-based real-time energy monitoring system using NodeMCU," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 6, pp. 227–230, Jun. 2020.
- [6] Texas Instruments, *INA3221 Triple-Channel, High-Side Shunt and Bus Voltage Monitor with I2C Interface*, Datasheet, Rev. E, Apr. 2022.
- [7] AMS OSRAM, *TSL2591 Light-to-Digital Converter*, Datasheet, Rev. D, Feb. 2021.
- [8] A. Slamet and A. Suryana, "Design of a UV Radiation Detection System Using the VEML6070 Sensor and ESP32," in *Proc. Int. Conf. Smart Technol. and Applications (ICOSTA)*, 2021, pp. 32–37.
- [9] TDK InvenSense, *MPU-6050 6-Axis Gyroscope and Accelerometer Module: Product Specification*, Rev. 4.4, Jan. 2021. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- [10] Y. Liu, H. Zhang, and C. Wu, "Design of a smart environmental monitoring system based on ESP8266 and DHT22," *Sensors*, vol. 21, no. 5, pp. 1556, Mar. 2021.

[11] C. Kowalke and A. Grüner, *Building IoT Solutions with MQTT and HiveMQ*, HiveMQ Technical Whitepaper, 2019.

[12] N. Roberts, *Beginning Node-RED: Programming for the Internet of Things*. Apress, 2020.

[13] M. El-Khozondar, H. Elayan, and A. S. El-Khozondar, "Design and implementation of Arduino-based dual-axis solar tracking system," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 392–399, Nov. 2020.

Giới thiệu tác giả



TS. Hoàng Anh Dũng tốt nghiệp đại học, thạc sỹ và tiến sỹ chuyên ngành Điện tử viễn thông – trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện đang công tác tại Khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Mở Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: Điện tử viễn thông, lập trình nhúng AI.



Phạm Tiến Huy tốt nghiệp đại học tại Trường Đại Học Mở Hà Nội và Thạc sỹ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Hiện đang công tác tại khoa Điện - Điện Tử của Trường Đại học Mở Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: Bảo mật và mạng máy tính, Trí tuệ nhân tạo, Xử lý hình ảnh.



Từ Viêt Hoàng tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Mở Hà Nội và nhận bằng Thạc sỹ kỹ thuật Điện Tử tại trường Đại học Bách Khoa Hà Nội năm 2020. Hiện đang công tác tại khoa Điện - Điện tử của Trường Đại học Mở Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: Thiết kế mạch điện tử, lập trình nhúng, IOT, truyền dẫn và xử lý dữ liệu.



Phạm Văn Hải - Năm 2007 tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Mở Hà Nội - Năm 2011 nhận bằng Thạc sỹ tại Trường Đại học Mở Hà Nội - Hiện nay công tác tại Phòng Tổ chức - Hành chính, Trường Đại học Mở Hà Nội



Vũ Duy Thuận, tốt nghiệp Đại học Bách Khoa chuyên ngành Đo lường và tin học công nghiệp (2004), Thạc sỹ Tự động hóa Bách Khoa (2008), Tiến sỹ Điều khiển và Tự động hóa tại Viện Hàn lâm và khoa học Việt Nam (2018), hiện đang là giảng viên Trường ĐH Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: điều khiển và tự động hóa, điều khiển thông minh, lập trình điều khiển, robot.



Ngô Quốc Hoàn, tốt nghiệp đại học tại Trường Đại học Mở Hà Nội và nhận bằng Kỹ sư Tự động hoá năm 2025.

Lĩnh vực nghiên cứu: Điện tử, điện tự động hoá, IoT.