

THIẾT KẾ HỆ THỐNG CÂN BẰNG ĐỊNH LƯỢNG IOT SỬ DỤNG BỘ LỌC KALMAN ĐỂ GIẢM NHIỀU TÍN HIỆU

DESIGN OF AN IOT-BASED BELT WEIGHING SYSTEM USING A KALMAN FILTER FOR NOISE REDUCTION

Nguyễn Ngọc Quang¹, Nguyễn Tiến Dũng¹,
Phạm Thị Thu Hương¹, Bùi Thị Duyên^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2026.155>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một hệ thống điều khiển và giám sát cân bằng định lượng dựa trên công nghệ Internet vạn vật (IoT), được triển khai xây dựng mô hình ứng dụng cho phòng thí nghiệm. Hệ thống đề xuất sử dụng bốn cảm biến loadcell lắp đặt dưới bề băng tải để đo khối lượng vật liệu trên băng tải. Nhằm giảm nhiễu đo và nâng cao độ chính xác, dữ liệu thu được được xử lý bằng bộ lọc Kalman. Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp lọc đề xuất giúp cải thiện độ chính xác, sai số trung bình 1,6%. Hệ thống được xây dựng với bộ điều khiển nhúng và tích hợp với nền tảng IoT để giám sát và truyền dữ liệu theo thời gian thực. Các thí nghiệm được tiến hành với các mẫu tải có khối lượng từ 0,5 đến 1kg. Kết quả cho thấy hệ thống đề xuất giúp nâng cao độ chính xác của phép đo và cung cấp một giải pháp khả thi cho việc giám sát và điều khiển hệ thống cân bằng định lượng sử dụng công nghệ IoT.

Từ khóa: Cân bằng định lượng, cảm biến khối lượng, lọc Kalman, internet vạn vật, hệ thống nhúng.

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based control and monitoring system for a belt weighing feeder developed on a laboratory-scale model. The system employs four load cell sensors mounted beneath the conveyor belt platform to measure the mass of materials on the belt. To reduce measurement noise and enhance accuracy, the acquired signals are processed using a Kalman filter. The control and monitoring system is implemented using an embedded controller and integrated with an IoT platform for real-time data monitoring and transmission. Experimental tests are conducted with sample loads ranging from 0.5 to 1kg. The experimental results demonstrate that the proposed filtering method improves measurement accuracy, achieving an average error of approximately 1.6%. These results confirm that the proposed system provides a reliable and feasible solution for real-time monitoring and control of belt weighing feeder systems based on IoT technology.

Keywords: Belt weighing feeder, Load cell, Kalman filter, Internet of Things (IoT), Embedded system.

¹Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực

*Email: duyenbt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/2/2026

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 29/6/2026

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, sự phát triển nhanh chóng của công nghệ Internet vạn vật (Internet of Things - IoT) đã mở ra nhiều cơ hội cho việc tự động hóa và giám sát trong các hệ thống công nghiệp. Việc tích hợp các cảm biến thông minh với nền tảng IoT cho phép thu thập, truyền và phân tích dữ liệu theo thời gian thực, từ đó nâng cao hiệu quả quản lý và vận hành

của các hệ thống sản xuất và logistics. Tại Việt Nam, các ứng dụng IoT trong giám sát hàng hóa và vật liệu đang ngày càng được quan tâm, đặc biệt trong các lĩnh vực công nghiệp, nông nghiệp, khai thác khoáng sản, vận tải và logistics. Các hệ thống này giúp giảm sự phụ thuộc vào phương pháp kiểm tra thủ công, đồng thời nâng cao độ chính xác, tăng tính tự động hóa và tối ưu hóa chi phí vận hành.

Trong các hệ thống sản xuất, vận chuyển vật liệu, cân bằng định lượng đóng vai trò quan trọng trong việc đo lường và kiểm soát khối lượng vật liệu trên băng tải. Hệ thống này thường được sử dụng trong các nhà máy xi măng, khai thác khoáng sản, chế biến nông sản và các dây chuyền sản xuất công nghiệp nhằm đảm bảo độ chính xác trong quá trình định lượng và vận chuyển vật liệu.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu trong nước đã tập trung vào việc phát triển các hệ thống cân băng tải và giám sát từ xa. Nghiên cứu [1] đã thiết kế hệ thống cân băng tải định lượng tích hợp chức năng trộn phân tự động sử dụng PLC S7-1200 kết hợp với phần mềm giám sát WinCC. Bên cạnh đó, nghiên cứu [2] đã đề xuất mô hình cân động trong hệ thống cân băng định lượng nhằm nâng cao độ chính xác của phép đo trong quá trình vận hành. Trong lĩnh vực giao thông vận tải, nghiên cứu [3] đã phát triển hệ thống cân động để kiểm tra tải trọng xe cơ giới một cách nhanh chóng và chính xác. Ngoài ra, nghiên cứu tại Đại học Bách khoa Hà Nội [4] đã đề xuất hệ thống kiểm định băng tải nhằm đảm bảo độ chính xác của cân động trong các hệ thống cân định lượng tại nhà máy.

Ở phạm vi quốc tế, nhiều nghiên cứu đã áp dụng các công nghệ tiên tiến nhằm nâng cao hiệu quả giám sát và vận hành của hệ thống băng tải. Nghiên cứu [5] đề xuất hệ thống giám sát và điều khiển tốc độ băng tải dựa trên nền tảng Internet. Nghiên cứu [6] phát triển hệ thống giám sát trạng thái hoạt động của băng tải sử dụng công nghệ RFID UHF kết hợp với mạng nơ-ron nhân tạo đa lớp. Ngoài ra, các phương pháp học máy như LightGBM đã được áp dụng trong chẩn đoán lỗi của hệ thống băng tải [7]. Một số nghiên cứu khác cũng đề xuất giải pháp cân tự động tích hợp cảm biến áp suất và công nghệ điện toán đám mây [8], cũng như hệ thống bảo trì dự đoán thông minh dựa trên thuật toán Random Forest [9].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về hệ thống cân băng tải và giám sát băng tải, phần lớn các nghiên cứu hiện nay tập trung vào các hệ thống quy mô công nghiệp hoặc các thuật toán chẩn đoán lỗi nâng cao. Tuy nhiên, các nghiên cứu về mô hình hệ thống cân băng định lượng tích hợp IoT ở quy mô phòng thí nghiệm, kết hợp với các phương pháp xử lý tín hiệu nhằm nâng cao độ chính xác đo lường vẫn còn hạn chế. Bên cạnh đó, việc tích hợp các phương pháp lọc tín hiệu nhằm giảm nhiễu đo trong các hệ thống cân băng sử dụng cảm biến loadcell chưa được nghiên cứu đầy đủ trong các mô hình thực nghiệm quy mô nhỏ.

Để giải quyết các vấn đề trên, bài báo này đề xuất một hệ thống điều khiển và giám sát cân băng định

lượng dựa trên công nghệ IoT được triển khai trên mô hình thí nghiệm quy mô phòng thí nghiệm cho giáo dục và đào tạo. Hệ thống sử dụng bốn cảm biến loadcell lắp đặt song song dưới chân của cả khối băng tải để đo khối lượng vật liệu trên băng tải và áp dụng bộ lọc cứng RC và lọc mềm Kalman để xử lý dữ liệu đo nhằm giảm nhiễu cũng như nâng cao độ chính xác của hệ thống. Ngoài ra, hệ thống được tích hợp nền tảng IoT để thực hiện giám sát và truyền dữ liệu theo thời gian thực. Các thí nghiệm được tiến hành với các mẫu tải có khối lượng từ 0,5 đến 1kg nhằm đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất.

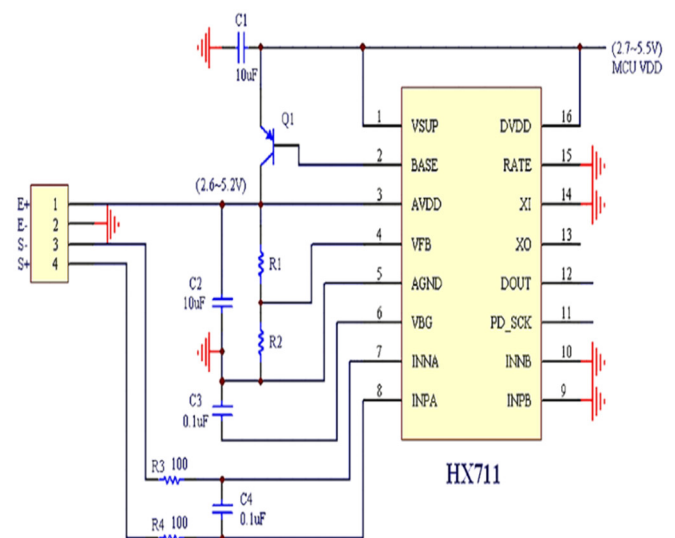
2. PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ TÍN HIỆU

2.1. Lọc nhiễu phần cứng bằng mạch lọc RC

Tín hiệu đầu ra của cảm biến loadcell có biên độ rất nhỏ và dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ trong môi trường công nghiệp. Do đó, trước khi đưa tín hiệu vào bộ khuếch đại và chuyển đổi ADC (HX711), cần sử dụng mạch lọc phần cứng để giảm nhiễu tần số cao.

Trong nghiên cứu này, một mạch lọc RC bậc một được sử dụng để lọc nhiễu tín hiệu từ loadcell như minh họa trong hình 1. Giá trị các linh kiện được lựa chọn như sau: $R = 100\Omega$, $C = 0,1\mu F$. Việc lựa chọn giá trị điện trở nhỏ giúp hạn chế suy giảm biên độ tín hiệu từ loadcell khi truyền tới bộ khuếch đại HX711. Đồng thời, tụ điện $0,1\mu F$ có tác dụng lọc các thành phần nhiễu tần số cao, giúp ổn định tín hiệu trước khi xử lý số. Tần số cắt của mạch lọc RC được xác định theo công thức: $f_c = 1/2\pi RC$

Với các giá trị linh kiện đã chọn, mạch lọc cho phép giảm nhiễu cao tần nhưng vẫn đảm bảo tín hiệu đo từ loadcell không bị biến dạng hoặc trễ đáng kể. Hình 1 minh họa sơ đồ mạch lọc RC được sử dụng trong hệ thống.



Hình 1. Sử dụng mạch lọc RC cho loadcell

2.2. Loại nhiễu phần mềm sử dụng thuật toán Kalman Filter

2.2.1. Giới thiệu chung về bộ lọc Kalman

Bộ lọc Kalman được đề xuất bởi Rudolf E. Kalman (1960) và là một thuật toán ước lượng tối ưu được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển và xử lý tín hiệu. Thuật toán này cho phép ước lượng trạng thái của hệ thống dựa trên các dữ liệu đo bị nhiễu thông qua việc kết hợp giữa mô hình hệ thống và các phép đo cảm biến.

Trong các hệ thống đo lường sử dụng loadcell, tín hiệu đo thường bị ảnh hưởng bởi nhiều nguồn nhiễu như rung động cơ học, nhiễu điện từ hoặc sai số cảm biến. Bộ lọc Kalman có khả năng giảm nhiễu hiệu quả và cải thiện độ chính xác của tín hiệu đo bằng cách thực hiện hai bước lặp chính:

Bước dự đoán (Prediction): Ước lượng trạng thái tiếp theo của hệ thống dựa trên trạng thái trước đó và mô hình động học.

Bước cập nhật (Update): Kết hợp dữ liệu đo mới từ cảm biến để hiệu chỉnh trạng thái dự đoán nhằm giảm sai số ước lượng.

Nhờ cơ chế cập nhật lặp này, bộ lọc Kalman có thể cung cấp các ước lượng trạng thái ổn định và chính xác ngay cả khi dữ liệu đo bị nhiễu.

2.2.2. Lựa chọn loại Kalman Filter

Hiện nay có nhiều biến thể của bộ lọc Kalman và đặc điểm của các loại như thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. So sánh các dạng thuật toán Kalman Filter

Dạng	Tuyến tính	Phi tuyến	Độ chính xác	Tính phức tạp
Standard Kalman Filter	Có	Không	+++	Thấp
Extended Kalman Filter	Không	Có	++	Trung bình
Unscented Kalman Filter	Không	Có	++++	Cao
Information Filter	Có	Không	+++	Trung bình
Ensemble Kalman Filter	Không	Có	++++	Rất cao

Hệ thống cân bằng định lượng trong nghiên cứu này chịu ảnh hưởng của các yếu tố như rung động cơ học, ma sát và độ trễ cảm biến. Mặc dù đây là một hệ thống có tính phi tuyến, nhưng trong điều kiện băng tải hoạt động ổn định với tốc độ gần như không đổi và khối lượng vật liệu thay đổi không lớn, hệ thống có thể được xấp xỉ như một hệ tuyến tính.

Do đó, để đơn giản hóa tính toán và đảm bảo khả năng triển khai trên hệ thống nhúng, nghiên cứu này lựa

chọn Standard Kalman Filter (KF) để xử lý tín hiệu đo từ cảm biến loadcell. Quá trình lọc nhiễu của KF được thể hiện trong hình 2.

2.2.3. Mô hình tính toán của Kalman Filter

Quá trình tính toán của bộ lọc Kalman bao gồm các bước sau: (1) Khởi tạo ước lượng ban đầu: Giả định ban đầu về giá trị (có thể sai), kèm theo độ không chắc chắn cao (được thể hiện bởi khoảng $\pm$); (2) Dự đoán: Giả sử các điểm đo không thay đổi quá nhanh, bộ lọc sẽ dự đoán giá trị tiếp theo; (3) Cập nhật trạng thái ước lượng và cập nhật sai số. Lặp lại liên tục: Mỗi lần lặp sẽ cải thiện độ chính xác, đường cong ước lượng ngày càng được thu hẹp, gần sát với "giá trị thực".

a) Tính hệ số Kalman Gain

Kalman Gain tại thời điểm t được xác định theo công thức:

$$K_t = \frac{P_t^- H^T}{H P_t^- H^T + R} \quad (1)$$

Trong đó:

K_t : Kalman gain tại thời điểm t ($0 \leq K_t \leq 1$)

P_t^- : Phương sai dự đoán ban đầu

H : Ma trận đo được

H^T : Chuyển vị của H

R : Phương sai số đo lường

Trong đó tử số $P_t^- H^T$: Kết hợp độ tin cậy của dự đoán với phép đo. Mẫu số $H P_t^- H^T + R$: tổng phương sai của tín hiệu đo. Khi R lớn thì cảm biến kém tin cậy hệ số Kalman Gain nhỏ thì tin vào mô hình hơn. Khi P_t^- lớn dẫn tới mô hình kém tin cậy và hệ số Kalman Gain lớn thì tin vào đo lường hơn. Khi $H = 1$ thì:

$$K_t = \frac{P_t^-}{P_t^- + R} \quad (2)$$

b) Cập nhật trạng thái ước lượng

Trạng thái ước lượng tại thời điểm t được xác định theo (3):

$$x_t = x_{t|t-1} + K_t (z_t - H \cdot x_{t|t-1}) \quad (3)$$

Trong đó:

x_t : vector trạng thái ước lượng tại bước t

$x_{t|t-1}$: Ước lượng trước khi cập nhật

z_t : Giá trị đo từ cảm biến

H : Ma trận đo được

K_t : Kalman gain tại thời điểm t ($0 \leq K_t \leq 1$)

Với $H=1$ thì phương trình (3) trở thành:

$$x_t = x_{t|t-1} + K_t(z_t - x_{t|t-1}) \quad (4)$$

Phương trình này cho phép điều chỉnh giá trị dự đoán dựa trên sai lệch giữa giá trị đo và giá trị dự đoán. Nếu $K_t=1$: Hệ thống tin hoàn toàn vào phép đo, ước lượng sẽ bằng giá trị đo (không còn lọc) như vậy dễ bị nhiễu nếu cảm biến không ổn định. Nếu $K_t=0$: Hệ thống không tin vào phép đo, giữ nguyên ước lượng cũ như vậy Estimate ổn định nhưng chậm phản ứng với thay đổi thực tế.

c) Cập nhật sai số ước lượng

$$P_t^- = \frac{P_{t|t-1}^- \cdot R}{P_{t|t-1}^- + R} \quad (5)$$

Trong đó:

$P_{t|t-1}^-$: Sai số ước lượng trước đó

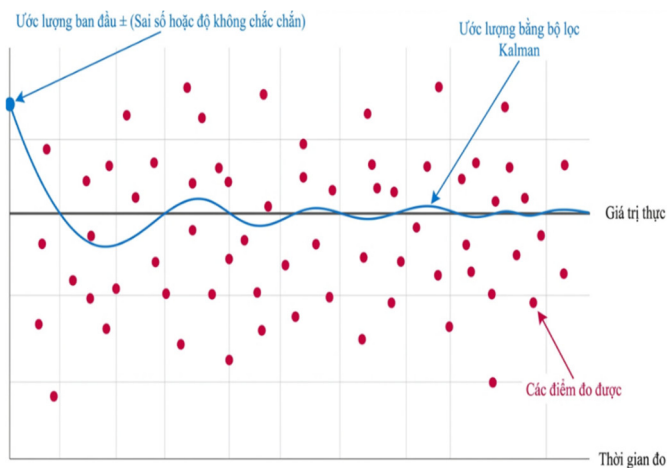
P_t^- : Sai số ước lượng hiện tại

Từ (2), ta có sai số sau khi được cập nhật thì K_t lúc này:

$$K_t = \frac{P_{t|t-1}^-}{P_{t|t-1}^- + R} \rightarrow 1 - K_t = \frac{R}{P_{t|t-1}^- + R} \quad (6)$$

Từ đây ta có:

$$P_t^- = (1 - K_t)P_{t|t-1}^- \quad (7)$$

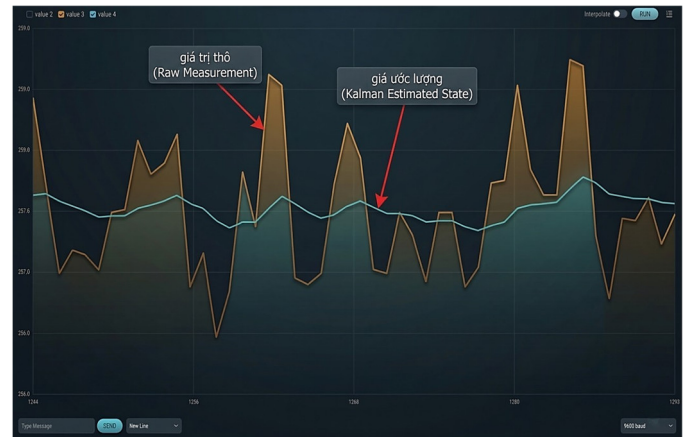


Hình 2. Mô tả quá trình lọc nhiễu Standard Kalman Filter (KF)

Đồ thị đáp ứng miễn thời gian tại hình 3 minh chứng rõ nét hiệu quả triệt nhiễu của thuật toán Standard Kalman Filter trong việc ổn định dữ liệu cho khâu điều khiển.

Tín hiệu đo lường thô (*Raw Measurement*): Dữ liệu thô (đường màu cam) bị thay đổi mạnh bởi nhiễu động lực học và lực va chạm. Biên độ dao động đỉnh rất lớn (256,0 đến 259,0) với các đỉnh gai nhiều làm giảm nghiêm trọng tỷ số tín hiệu trên nhiễu. Nếu sử dụng trực tiếp, đặc tuyến

phân kỳ này sẽ gây hiện tượng dao động ký sinh (*chattering*), khiến cơ cấu chấp hành đóng/cắt sai lệch.



Hình 3. Đồ thị đo giá trị thực khi cân khối lượng vật

Trạng thái ước lượng (*Kalman Estimated State*): Trái ngược lại, quỹ đạo tín hiệu sau lọc (đường màu xanh) đã triệt tiêu hoàn toàn các dao động quá độ và nhanh chóng hội tụ về trạng thái xác lập quanh trực giá trị 257,5. Việc tinh chỉnh tối ưu ma trận hiệp phương sai giúp thuật toán đóng vai trò như một bộ lọc thông thấp, "san phẳng" mọi nhiễu trắng.

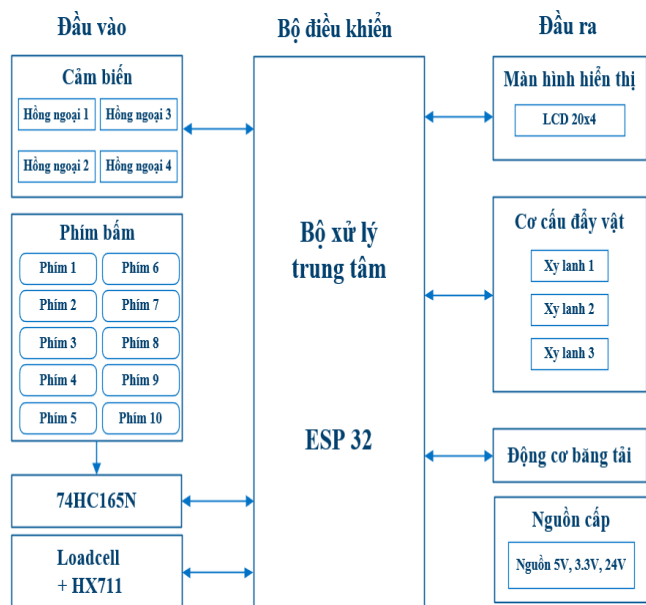
Code thuật toán Standard Kalman Filter:

```
1 float StandardKalmanFilter:updateEstimate(float z_k)
2 { K_k = P_prev / (P_prev + R);
3   x_k = x_prev + K_k * (z_k - x_prev);
4   P_k = (1.0 - K_k) * P_prev + fabs(x_prev - x_k) * q;
5   x_prev = x_k;
6   return x_k;}
```

3. CẤU HÌNH HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT CÂN BẰNG ĐỊNH LƯỢNG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ IoT

3.1. Sơ đồ khối hệ thống đề xuất

Dựa vào mục tiêu hoạt động của cân bằng định lượng, hệ thống bao gồm: (1) Băng tải di chuyển sản phẩm qua các vị trí đo và phân loại, sử dụng cảm biến để phát hiện sự hiện diện; (2) Đo trọng lượng: Cảm biến trọng lượng đo khối lượng sản phẩm, chuyển đổi thành tín hiệu điện; (3) Xử lý tín hiệu: Bộ điều khiển (như PLC hoặc vi điều khiển) xử lý tín hiệu, lọc nhiễu và xác định khối lượng theo ngưỡng định trước; (4) Phân loại: Cơ cấu phân loại được kích hoạt để phân loại sản phẩm vào các nhóm tương ứng, đồng thời ghi nhận dữ liệu để hiển thị và giám sát. Các thành phần của hệ thống được mô tả như hình 4, sơ đồ nguyên lý tổng thể là hình 6 và chế tạo bộ điều khiển cho hệ thống như hình 5. Cả mô hình hệ thống được thể hiện trong hình 7.



Hình 4. Sơ đồ khối hệ thống



b) Bộ điều khiển được chế tạo

Hình 5. Bộ điều khiển của hệ thống

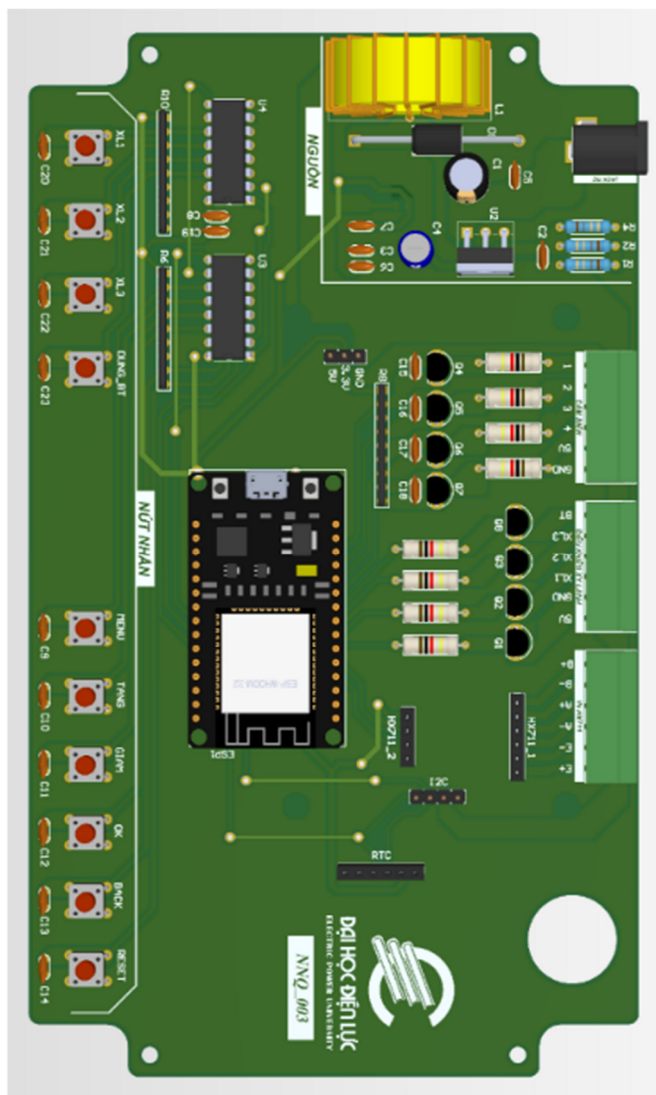
Code Thuật toán truyền IoT:

```

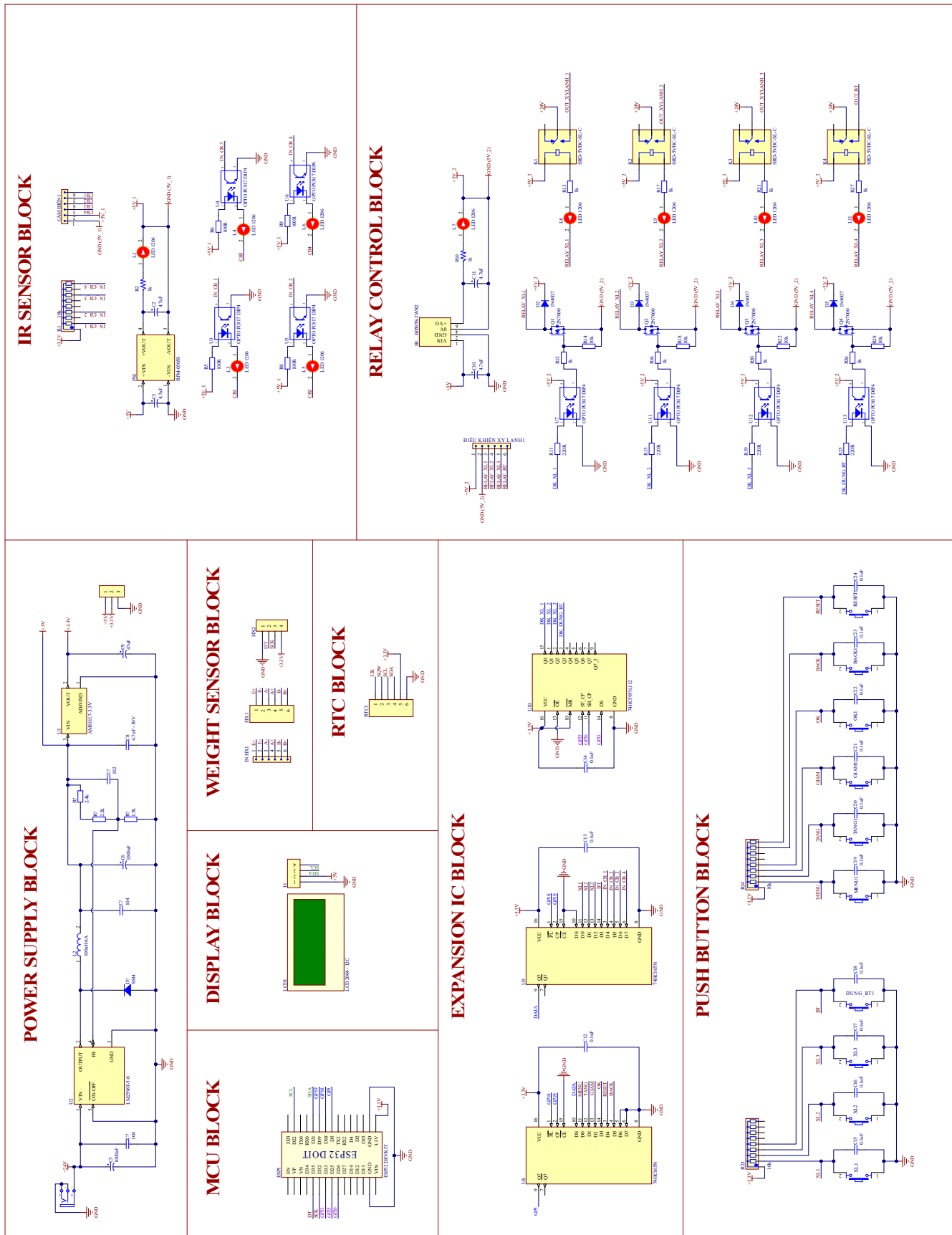
1 void TaskWebCode(void *pvParameters)
2 { for (;;) { myWeb.handle();
3   vTaskDelay(2/portTICK_PERIOD_MS); }
   xTaskCreatePinnedToCore(TaskWebCode,
4   "TaskWeb", 10000, NULL, 1, &TaskWeb, 0);

```

Các endpoint API		Cấu trúc JSON /data:
Mã lệnh	Chức năng	<pre>{ "W": "N": "V": "G": "T": "C": "Time": }</pre>
/	Trả về trang HTML dashboard	
/data	JSON: khối lượng, đếm SP, trạng thái, giờ	
/toggle	Bật/tắt băng tải	
/reset	Reset bộ đếm sản phẩm	
/set?id=&val=	Cập nhật số lượng từng loại	
/trigger?id=	Kích xy-lanh thủ công	
/download	Tải file CSV	
/delete	Xóa toàn bộ dữ liệu	

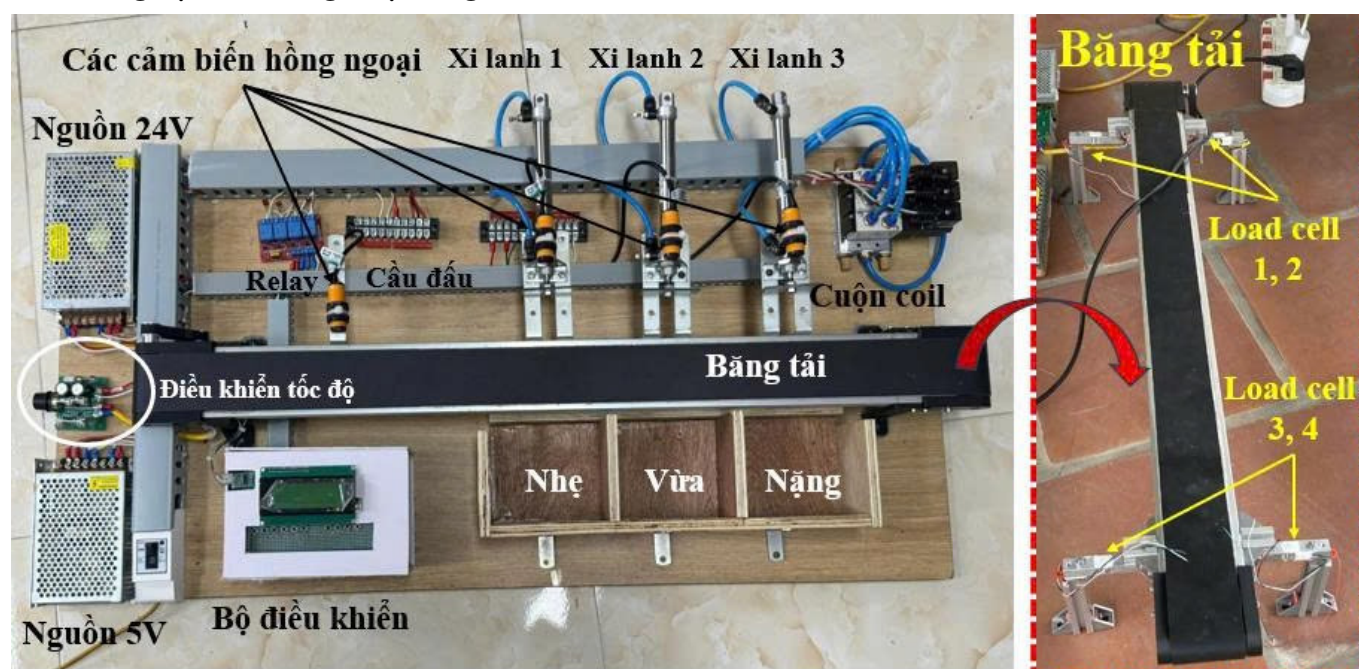


a) Sơ đồ PCB mạch điều khiển



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý tổng thể của bộ điều khiển

3.2. Thử nghiệm và đánh giá hệ thống



Hình 7. Mô hình thực tế của hệ thống để xuất

Hệ thống sử dụng bốn cảm biến Loadcell kết hợp với module HX711 để đo khối lượng các vật mẫu. Các cảm biến được đặt ở các chân của cả hệ thống bảng tải nên đảm bảo độ ổn định và chính xác cao trong quá trình vận hành, không ảnh hưởng nhiều bởi tốc độ bảng tải hoặc độ lún của bảng tải khi đặt dưới tấm bảng tải. Mỗi vật mẫu được đo nhiều lần và tính giá trị trung bình cho mỗi mẫu để đạt được độ chính xác cao trong đo lường.

Bảng 2. Kết quả đo lường khối lượng các vật mẫu chuẩn

STT	Khối lượng chuẩn (g)	Khối lượng đo (g)	Sai số (g)	Sai số (%)	Phân loại
1	50	49,9	-0,1	-0,20%	Nhẹ
2	100	103,1	+3,1	3,10%	Nhẹ
3	150	145,7	-4,3	-2,87%	Nhẹ
4	200	200,2	+0,2	0,10%	Nhẹ
5	250	257,1	+7,1	2,84%	Nhẹ
6	300	294,1	-5,9	-1,97%	Nhẹ
7	350	347,6	-2,4	-0,69%	Vừa
8	400	409,9	+9,9	2,48%	Vừa
9	450	454,3	+4,3	0,96%	Vừa
10	500	495,5	-4,5	-0,90%	Vừa
11	550	558,6	+8,6	1,56%	Vừa
12	600	595,4	-4,6	-0,77%	Vừa
13	650	641,2	-8,8	-1,35%	Vừa

14	700	688,6	-11,4	-1,63%	Vừa
15	750	731,5	-18,5	-2,47%	Nặng
16	800	789,6	-10,4	-1,30%	Nặng
17	850	832,9	-17,1	-2,01%	Nặng
18	900	878,3	-21,7	-2,41%	Nặng
19	950	964,8	+14,8	1,56%	Nặng
20	1000	992,4	-7,6	-0,76%	Nặng
Sai số trung bình				1,6%	

Nhận xét kết quả thực nghiệm: Từ kết quả đo lường khối lượng của 20 mẫu thử trong bảng 2, có thể đưa ra một số nhận xét sau:

- Độ chính xác của phép đo

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đo lường đạt độ chính xác tốt trong toàn bộ dải khối lượng khảo sát. Sai số tương đối của tất cả các mẫu đều nhỏ hơn 3,1%, nằm trong giới hạn cho phép đối với hệ thống cân bằng định lượng quy mô thí nghiệm. Sai số tuyệt đối dao động từ 0,1g (tại mẫu 50g) đến 21,7g (tại mẫu 900g). Mặc dù sai số tuyệt đối có xu hướng tăng khi khối lượng mẫu lớn hơn, nhưng xét theo sai số tương đối, hệ thống vẫn duy trì độ chính xác ổn định trên toàn bộ dải tải từ 50g đến 1000g.

Kết quả cũng cho thấy thuật toán Kalman Filter hoạt động hiệu quả trong việc giảm nhiễu tín hiệu đo từ cảm biến loadcell. Giá trị đo sau khi xử lý bám sát giá trị khối lượng thực tế, đồng thời hạn chế được các dao động ngẫu nhiên phát sinh trong quá trình vận hành của bảng tải.

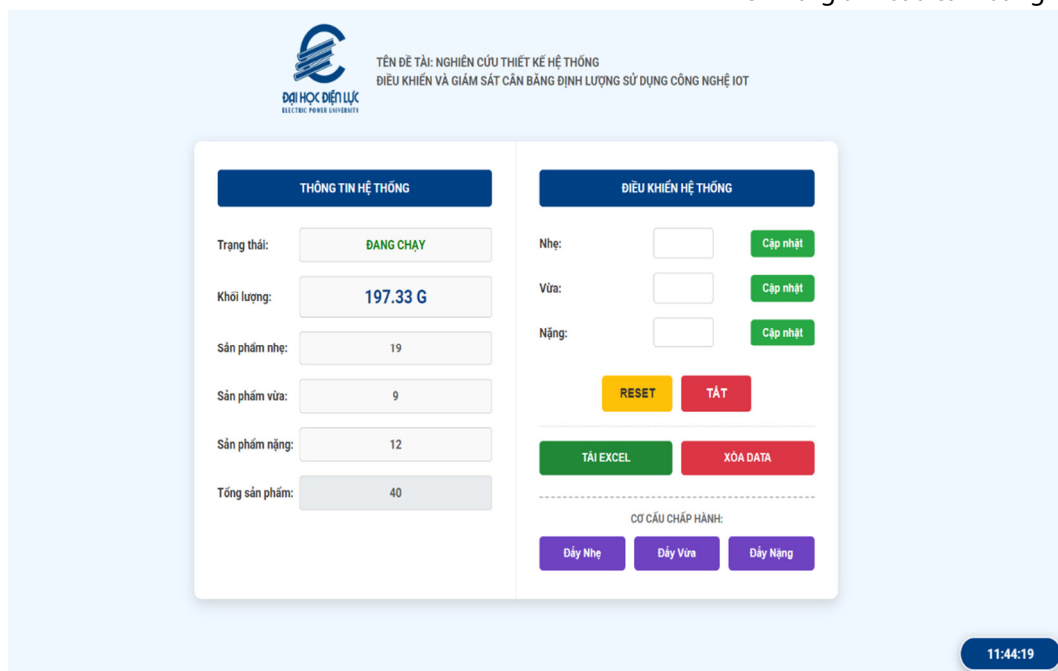
- Khả năng ứng dụng trong hệ phân loại sản phẩm

Hệ thống phân loại sản phẩm theo các ngưỡng khối lượng cài đặt với tỷ lệ chính xác đạt 100% trên toàn bộ 20 mẫu thử nghiệm. Đặc biệt, hệ thống vẫn đảm bảo khả năng phân loại chính xác tại các điểm ranh giới giữa các nhóm khối lượng. Ví dụ, tại mẫu số 6 với khối lượng chuẩn 300g (ngưỡng chuyển giữa nhóm “Nhẹ” và “Vừa”), giá trị đo được là 294,1g, do đó hệ thống phân loại đúng vào nhóm “Nhẹ” theo quy tắc đã thiết lập. Tương tự, tại mẫu số 14 với khối lượng chuẩn 700g, giá trị đo được là 688,6g và hệ thống đã phân loại chính xác vào nhóm “Vừa”.

Những kết quả này cho thấy hệ thống có khả năng xử lý tín hiệu đo một cách ổn định và đưa ra quyết định điều khiển cơ cấu chấp hành chính xác, đảm bảo yêu cầu của hệ thống cân bằng định lượng tự động và ứng dụng cho phân loại sản phẩm.

3.3. Giao diện của hệ thống

Hệ thống sử dụng module ESP32 để kết nối Wi-Fi và hiển thị dữ liệu trên giao diện web. Trong quá trình thử nghiệm, các thông số như khối lượng, số lượng sản phẩm từng loại, và tổng số sản phẩm được cập nhật thời gian thực trên giao diện web như hình 8.



Hình 8. Kết quả giám sát qua IoT

Thời gian phản hồi của tín hiệu trung bình 0,5 giây từ khi vật được cân đến khi dữ liệu hiển thị trên web. Tỷ lệ truyền dữ liệu thành công 100%. Tính năng điều khiển từ xa: Các lệnh reset, dừng/tiếp tục bằng tải, và chỉnh sửa số lượng sản phẩm được thực hiện thành công qua giao diện web.

Code điều khiển phân loại sản phẩm:

```
1 void xu_ly_phan_loai() {
2     if (bang_tai_on && da_chot_so &&
3         !xylanh_dang_chay) {
4         if (vat_chot >= 700 && digitalRead(PIN_IN_CB_2)
5             == LOW) {
6             kich_hoat_xl(PIN_DK_XL_1, 2);
7         }
8         else if (vat_chot >= 350 && vat_chot < 700 &&
9             digitalRead(PIN_IN_CB_3) == LOW) {
10            kich_hoat_xl(PIN_DK_XL_2, 1);
11        }
12        else if (vat_chot >= 20 && vat_chot < 350 &&
13            digitalRead(PIN_IN_CB_4) == LOW) {
14            kich_hoat_xl(PIN_DK_XL_3, 0);
15        }
16        if (da_chot_so && !xylanh_dang_chay) {
17            if (vat_realtime < 10) {
18                da_chot_so = false;
19                so_mau_da_doc = 0;
20            }
21        }
22    }
```

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất và xây dựng một hệ thống điều khiển và giám sát cân bằng định lượng dựa trên công

nghệ Internet of Things (IoT). Trong nghiên cứu này, thuật toán Standard Kalman Filter được áp dụng để xử lý và lọc nhiễu tín hiệu đo từ cảm biến loadcell, góp phần nâng cao độ ổn định và độ chính xác của hệ thống trong điều kiện vận hành động. Đồng thời, hệ thống được tích hợp chức năng giám sát và điều khiển từ xa thông qua giao diện web, giúp nâng cao tính linh hoạt và khả năng quản lý hệ thống.

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đạt hiệu năng tốt trong quá trình vận hành. Sai số đo lường trung bình của hệ thống khoảng 1,6%, trong khi thuật toán phân loại sản phẩm dựa trên ngưỡng khối lượng đạt tỷ lệ chính xác 100% đối với các mẫu thử nghiệm. Bên cạnh đó, việc tích hợp nền tảng IoT cho phép người dùng theo dõi dữ liệu

và điều khiển hệ thống từ xa thông qua giao diện web, góp phần hiện đại hóa quá trình giám sát và vận hành. Mô hình hệ thống cũng được thiết kế gọn nhẹ, kết hợp giao diện LCD và các nút điều khiển trực tiếp, giúp người dùng dễ dàng thao tác tại chỗ, đồng thời hỗ trợ điều khiển từ xa thông qua nền tảng web.

Các kết quả đạt được cho thấy hệ thống được đề xuất có khả năng đáp ứng tốt yêu cầu đo lường, phân loại và giám sát trong mô hình cân bằng định lượng quy mô thí nghiệm. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tập trung vào việc nâng cao độ ổn định của hệ thống trong các điều kiện môi trường biến động, đồng thời nghiên cứu các phương pháp xử lý tín hiệu và thuật toán tối ưu hơn nhằm cải thiện độ chính xác và khả năng triển khai trong các ứng dụng thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Đức Quận, Nguyễn Văn Tiên, *Thiết kế hệ thống băng tải định lượng, trộn phân tự động dùng PLC S7- 1200 điều khiển và giám sát bằng Wincc*. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, 2023.
- [2]. Đỗ Thị Mai, Dương Chính Cường, Vũ Thạch Dương, Đỗ Văn Chuyên, "Giải quyết bài toán cân động trong mô hình hệ thống cân bằng định lượng," *Tạp chí và Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, 169, 09, 2017. <https://jst.tnu.edu.vn/jst/article/view/1071>
- [3]. Dương Quang Khánh, *Nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống cân động để kiểm tra tải trọng xe cơ giới phục vụ công tác nghiên cứu khoa học và đào tạo*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2022. <https://www.vista.gov.vn/vi/news/ket-qua-nghien-cuu-trien-khai/10399.html>
- [4]. Nguyễn Công Trung, *Nghiên cứu và xây dựng hệ thống kiểm định cân bằng tải*. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2015. <https://dlib.hust.edu.vn/entities/publication/72193ba8-e057-42ca-8d4e-df6d86ad43c8>
- [5]. P.V.S. Anusha, P. Swapna, D.V. Rama Koti Reddy, "Revolutionizing Conveyor Belt Systems: Empowering Predictive Maintenance with IoT, Cloud, and Machine Learning," *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11, 6, 224-233, 2024. <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V11I6P124>
- [6]. Zohra F. T., Salim O., Masoumi H., Karmakar N. C., Dey S., "Health monitoring of conveyor belt using UHF RFID and multi-class neural networks," *Electronics (Switzerland)*, 11(22), Article 3737, 2022. <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/22/3737>
- [7]. Wang M, Shen K, Tai C, Zhang Q, Yang Z, Guo C, "Research on fault diagnosis system for belt conveyor based on internet of things and the LightGBM model," *PLoS ONE*, 18(3): e0277352, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277352>

[8]. Dande Madhu, Nikhil Kota, Prabukumar Manoharan, "A Simple Robust IoT Sensor Based Weighing System," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 120. 9573-9595, 2018.

[9]. Kai Woon Goh, Kam Heng Chaw, Ye Sheng Koh, Marvin Dares, Che Fai Yeong, Eileen L M Su, Yunhui Zhang, "An Intelligent Predictive Maintenance System Based on Random Forest for Addressing Industrial Conveyor Belt Challenges," *Frontiers in Mechanical Engineering*, 10 3389, fmech 1383202, 2024. <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1383202>

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Ngoc Quang, Nguyen Tien Dung,
Pham Thi Thu Huong, Bui Thi Duyen**

Faculty of Control and Automation, Electric Power University, Vietnam