

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ GHI NHẬT KÝ VÀ ĐO LƯỜNG GIÁN TIẾP MỨC TIÊU HAO NHIÊN LIỆU MÁY CHÍNH DỰA VÀO TỐC ĐỘ QUAY CHÂN VỊT VÀ ỨNG DỤNG CÔNG THỨC VÀ THUẬT TOÁN MÁY HỌC TÍNH TOÁN DỰ ĐOÁN HÀNH TRÌNH TIẾP THEO

EQUIPMENT ON THE SHIP'S LOG AND INDIRECT FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT OF MAIN ENGINE BASED ON PROPELLER ROTATIONAL SPEED AND APPLYING DESIGN, MANUFACTURING MACHINE LEARNING ALGORITHM TO EQUIPMENT ON PREDICTING FUEL FOR NEXT JOURNEY

Trần Anh Tuấn, Nguyễn Thanh Sơn

Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Với nhu cầu phát triển ngày càng tăng của đội tàu biển thế giới, nguồn năng lượng truyền thống trở nên khan hiếm và giá năng lượng không ngừng tăng, cạnh tranh về cước vận tải biển tăng dần. Qua thực tế, việc ứng dụng các công nghệ và giải pháp kỹ thuật mới là một trong những biện pháp hữu hiệu, quan trọng để tăng tính kinh tế và an toàn cho việc khai thác đội tàu biển. Bài báo trình bày một ứng dụng công thức và thuật toán máy học để tính toán, thiết kế, chế tạo thiết bị ghi nhật ký và đo lường gián tiếp mức tiêu hao nhiên liệu máy chính dựa vào tốc độ quay chân vịt. Ý tưởng này giúp giảm giá thành sản phẩm, đơn giản hóa việc quan tuyến trình tàu, đo lường gián tiếp nhiên liệu tiêu thụ, thống kê nhiên liệu cho chủ tàu.

Từ khóa: Thuật toán máy học, đo lường nhiên liệu máy chính, đo lường thông qua vòng quay chân vịt, đo lường gián tiếp nhiên liệu máy chính, công nghệ đo lường nhiên liệu máy chính.

Chỉ số phân loại: 1.4

Abstract: With demand increasing development of the marine fleet in the world, traditional energy sources increasingly scarce and energy prices are increasing, competitive freight sea increases gradually, then the application of technology and new technical solutions is one of the measures effective and important to increase economy and safety for the mining fleet. This article presents a recipe app and machine learning algorithms to calculate, design, fabrication, equipment logs, and indirect measurement of fuel consumption of the main machine based on the speed of rotation propeller. This idea helps to reduce the cost of products, simplifying the online process vessel, indirect measurement of fuel consumption statistics, fuel for ship owners.

Keywords: Machine learning algorithms, measure the fuel in the main, fuel measurement through engine rotations, indirect measurement of fuel in the main measurement technology course materials the main machine.

Classification number: 1.4

1. Giới thiệu

Hiện nay, trên thế giới có nhiều loại thiết bị đo lưu lượng chất lỏng theo các nguyên lý đo khác nhau như [1]:

- Lưu lượng kế: Đo theo nguyên lý chênh áp; tốc độ dòng chảy; dịch chuyển dương... Với ưu điểm: Dễ thực hiện, ít tốn kém. Nhược điểm: Gây thất thoát rất nhiều, khó bảo vệ khi lắp ráp lên tàu;

- Ghi lại nhật ký cấp dầu cho máy chính.

Ưu điểm: Dễ thực hiện, ít tốn kém. Nhược điểm: Thủ công, tốn nhân lực và dễ thất thoát nhiên liệu;

- Sử dụng công thức toán học để đo nhiên liệu tiêu thụ máy chính. Ưu điểm: Độ tin cậy cao, chính xác, hoạt động ổn định, bền. Nhược điểm: Giá thành, chi phí lắp đặt tốn kém, rất khó tìm ra các thông số hiệu chỉnh phù hợp.

Bài báo thực hiện tính toán tiêu thụ nhiên liệu cho một máy chính. Với mục đích là tìm được các hệ số hiệu chỉnh phù hợp với con tàu để đưa ra kết quả tương đối chính xác phù hợp với thực tế trên con tàu. Vận dụng các thuật toán máy học để thiết bị hoạt động ngày một hiệu quả và thông minh hơn. Với bộ dữ liệu càng nhiều, vì thế, thiết bị có thể sử dụng cho nhiều loại máy chính khác nhau. Đồng thời, thiết kế, chế tạo thiết bị đo, hiển thị và ghi nhận ký tiêu hao nhiên liệu máy chính và thiết kế phần mềm thống kê mức tiêu thụ nhiên liệu máy chính tàu thủy từ dữ liệu đã được lưu trữ trong quá trình vận hành [2].

Thiết bị ghi nhận ký và đo lường gián tiếp mức tiêu hao nhiên liệu máy chính dựa vào tốc độ quay chân vịt bao gồm một thiết bị lắp đặt trên tàu ghi nhận các tín hiệu, ghi nhận ký hành trình tàu và một phần mềm trên máy tính để phân tích dữ liệu ghi nhận được từ thiết bị tính ra nhiên liệu tiêu thụ của máy chính.

Từ các bộ dữ liệu đo được của các chuyến hành trình tàu thì nhà quản lý đội tàu có thể ước lượng được nhiên liệu cho chuyến hành trình tiếp theo để cung cấp cho con tàu một cách hiệu quả đảm bảo không thiếu hoặc quá dư. Bằng cách áp dụng thuật toán máy học (Machine Learning) với thuật toán XGBoost (Extreme Gradient Boosting) để đào tạo (Training) [7] từ bộ dữ liệu tiêu thụ của máy chính ở các chuyến hành trình trước đó. Nhằm mang lại sự an tâm và quản lý nhiên liệu hiệu quả hơn trong hoạt động khai thác.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

• Công thức tính nhiên liệu tiêu thụ cho máy chính lai chân vịt tàu biển

Công thức tính tiêu thụ nhiên liệu cho động cơ chính thông qua vòng quay chân vịt tàu biển được xây dựng dựa trên cơ sở lý thuyết như trình bày sau [3]:

$$G_{24} = \frac{G_0}{1000} \times \frac{1}{1-0,25\left(\frac{T}{T_0}-1\right)} \times \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \times 24 \times (1 + \sum C_i) \quad (1)$$

Các thông số cơ bản của công thức tính tiêu thụ nhiên liệu tiêu thụ máy chính:

G_{24} : Lượng tiêu hao nhiên liệu của máy chính, tấn/ngày;

G_0 : Lượng tiêu hao nhiên liệu máy chính với công suất và vòng quay định mức, kg/h;

1000: Số quy đổi đơn vị khối lượng.

T : Lượng hàng chở trên tàu tại thời điểm tính toán, tấn;

T_0 : Trọng tải của tàu, tấn DWT;

n_0 : Vòng quay định mức của máy chính, vòng/phút (v/p);

n : Vòng quay toàn tải của máy chính tại thời điểm tính toán, vòng/phút (v/p);

24: Số giờ trong một ngày;

C_i : Các hệ số hiệu chỉnh do các ảnh hưởng tác động đến tiêu hao nhiên liệu.

Các yếu tố ảnh hưởng như kết cấu động cơ, tình trạng kỹ thuật, ảnh hưởng của tải trọng hàng hoá, tình trạng kỹ thuật vỏ tàu, điều kiện khai thác thực tế được hiệu chỉnh.

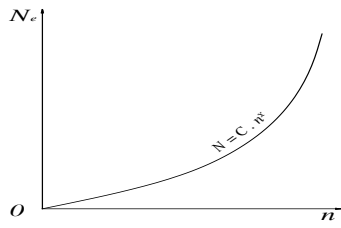
• Hệ số ảnh hưởng tình trạng vỏ tàu và chân vịt

Đặc tính chân vịt biểu thị mối quan hệ giữa các thông số làm việc của động cơ với tốc độ quay hoặc tốc độ tàu khi lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình thay đổi gọi là đặc tính chân vịt. Hay sự phụ thuộc các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của động cơ vào tốc độ quay của nó khi động cơ lai chân vịt được gọi là đặc tính chân vịt. Chân vịt tiếp nhận công suất, mô men do động cơ sản ra trừ đi một phần tổn thất năng lượng khi truyền từ động cơ đến chân vịt [1-2].

Để xây dựng được đặc tính chân vịt, ta phải giả định rằng lượng nhiên liệu phun vào động cơ trong mỗi chu trình thay đổi ($dw \neq const$) và toàn bộ công suất phát ra của động cơ truyền hết cho chân vịt. Khi đó sự biến đổi mô men, công suất phụ thuộc tốc độ quay được xác định theo biểu thức sau:

$$N_e = C * n^3 \quad (2)$$

Từ phương trình trên cho thấy với một con tàu cụ thể ở một điều kiện khai thác nhất định ($C = const$), công suất có quan hệ bậc ba với tốc độ quay của nó. Trong thực tế khai thác điều kiện hàng hải luôn thay đổi như khi tàu hoạt động trong điều kiện sóng gió thay đổi thì hằng số C cũng thay đổi theo điều kiện khai thác. Kết quả là ta sẽ có họ các đường đặc tính chân vịt.



Hình 1. Biểu diễn mối quan hệ giữa công suất với tốc độ quay khi lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình thay đổi.

Công thức tính sự ảnh hưởng trình trạng vỏ tàu và chân vịt

$$C_1 = Y_{kt} - 1 \quad (3)$$

Trong đó:

$$Y_{kt} = \frac{\xi_{kt}}{\xi_0} \times \frac{\eta_0}{\eta_t} = K_r \times \frac{\eta_0}{\eta_t} \quad (4)$$

K_r : Tỷ số tăng tổng sức cản R theo công thức của I.U.A.Sved:

$$K_r = \frac{R_t}{R_0} = 1 + \frac{\Delta \xi_{kt}}{\xi_0} = 1 + 1,7(1 - 0,411^{0,0012T_{kt}}) \quad (5)$$

$\frac{\eta_0}{\eta_t} = f(T_{kt})$: Tỷ số thay đổi hiệu suất chân vịt theo thời gian khai thác và được tra theo đồ thị;

T_{kt} : Thời gian tính từ lần lên đà gần nhất của tàu.

• **Hệ số tính đến ảnh hưởng của chất lượng nhiên liệu dầu sử dụng**

Xuất phát từ công thức tính nhiệt trị nhiên liệu ta có:

$$Q_H = (46,704 - 8,802 \cdot d^2 \cdot 10^{-6} + 3,167 \cdot d \cdot 10^{-3})(1 - 0,01(x + y + s)) + 0,0942 \cdot s - 0,02449 \cdot x \quad (6)$$

Công thức xác định hệ số:

$$C_2 = \frac{g_{ct2}}{g_{ct1}} = \frac{Q_{H1}}{Q_{H2}} \quad (7)$$

• **Hệ số tính đến ảnh hưởng của điều kiện khí hậu môi trường**

Điều kiện khí hậu môi trường (nhiệt độ, áp suất...) ở điều kiện khai thác thực tế ảnh hưởng thường xuyên đến máy chính trong quá trình vận hành, đây là một yếu tố ảnh hưởng tuy nhỏ nhưng lại thường xuyên và liên tục tác động trực tiếp đến mức tiêu thụ nhiên liệu của động cơ. Công thức:

$$C_3 = 1/K_1 \cdot K_2 = \frac{1}{\frac{P-b}{735} \left(\frac{289}{T}\right)^{0,75} \cdot P} \cdot \frac{760}{P} \quad (8)$$

Trong đó:

P : Áp suất không khí;

b : Áp suất nổi hơi ở điều kiện khai thác thực tế;

T : Nhiệt độ của không khí ở điều kiện khai thác thực tế.

• **Hệ số tính đến ảnh hưởng của tình trạng biển (điều kiện sóng gió)**

Từ tiêu chuẩn sóng gió, biểu thị hệ số giữa lực quán tính, trọng lực và tiêu chuẩn sóng gió ta tìm ra được hệ số điều kiện sóng gió tác động lên tàu làm ảnh hưởng đến suất tiêu hao nhiên liệu theo công thức sau:

$$C_4 = K_{sg} - 1 \quad (9)$$

Với K_{sg} được tính:

$$K_{sg} = 1 + \frac{w}{a \cdot (FrL - 0,05)} \quad (10)$$

Trong đó:

a : Đặc trưng của sóng, tính theo công thức thực nghiệm và được tính theo công thức sau:

$$a = \frac{65}{P_\delta^2} \quad (11)$$

Trong đó:

P_δ : Cấp sóng, cấp sóng được quy định trong quy phạm do các cơ quan Đăng kiểm ban hành.

Chỉ số Frut biểu thị hệ số giữa lực quán tính và trọng lực được tính theo công thức sau:

$$FrL = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (12)$$

Tiêu chuẩn chịu sóng gió:

$$W = \sqrt{\frac{10^4 \cdot T \cdot \delta}{L \cdot (B \cdot T)^{3/2}}} \quad (13)$$

Trong đó các hệ số tiêu chuẩn trong công thức gồm:

FrL : Hệ số Frut theo chiều dài tàu;

g : Gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

T : Chiều chìm của tàu (món nước toàn tải), m;

δ : Hệ số béo của tàu (hệ số đầy thể tích C_B): $\delta = D / (L \cdot T \cdot B)$;

D : Lượng chiếm nước của tàu toàn tải;

V : Vận tốc tàu, hl/h ;

L : Chiều dài thiết kế tàu, m;

B : Chiều rộng tàu, m;

• Thuật toán máy học (Machine Learning)

Yêu cầu đặt ra cho người quản lý đội tàu là cung cấp nhiên liệu hợp lý cho chuyến hành trình mới đảm bảo không thiếu hoặc quá dư cho tàu. Nhằm giải quyết yêu cầu đó, người quản lý cần có nhiều kinh nghiệm để dự đoán được nhiên liệu tiêu thụ cho chuyến hành trình mới. Chính yêu cầu cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật hiện nay ta có thể dùng thuật toán máy học để dự đoán nhiên liệu cho chuyến hành trình mới dựa vào các bộ dữ liệu từ chuyến hành trình cũ của các con tàu để cho ra kết quả tốt hơn. Dựa trên kết quả nhiên liệu mà máy học dự đoán được kết hợp với kinh nghiệm giúp cho người quản lý đội tàu cung cấp nhiên liệu cho đội tàu hiệu quả hơn.

Theo tàu, ta có các thông số mặc định như:

- Lượng tiêu hao nhiên liệu định mức máy chính;
- Vòng quay định mức máy chính;
- Lượng hàng chở được;
- Trọng tải của tàu.

Khi một chuyến hành trình mới của con tàu ta sẽ có giá trị trọng tải thay đổi của tàu. Sử dụng giá trị đó kết hợp với vòng quay trung bình của một con tàu sau khi kết thúc hành trình để làm dữ liệu đầu vào của một con tàu. Và kết quả đầu ra của việc dự đoán là nhiên liệu của con tàu tiêu thụ trong 1 phút.

Thuật toán XGBoost (Extreme Gradient Boosting). Đây là thuật toán State-Of-The-Art nhằm giải quyết bài toán Supervised Learning cho độ chính xác khá cao.

y là biến ngẫu nhiên “output”;

$x = \{x_1, \dots, x_n\}$ là biến ngẫu nhiên “input”;

$\{y_i, x_i\}$ là mẫu dữ liệu training;

$F^*(x)$ là hàm mục tiêu ánh xạ x sang y ;

$L(y, F(x))$ là loss function.

Mục tiêu của chúng ta tìm được hàm mục tiêu F^* sao cho cực tiểu hoá kỳ vọng của hàm lỗi.

$$F^* = \underset{F}{\operatorname{argmin}} E_{y,x} L(y, F(x)) = \underset{F}{\operatorname{argmin}} E_x [E_y (L(y, F(x))) | x] \quad (14)$$

Đầu vào: Dữ liệu $\{(x_i, y_i)\}$

Bước 1: Khởi tạo hằng số

$$F_0(x) = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} \sum_i^n L(y_i, \gamma) \quad (15)$$

Bước 2: for $m = 1$ to M :

(A) Compute

$$r_{im} = - \left[\frac{\partial L(y_i, F(x_i))}{\partial F(x_i)} \right]_{F(x)=F_{m-1}(x)} \quad (16)$$

for $i = 1, \dots, n$

(B) Fit a regression tree to the r_{im} values and create terminal regions R_{jm} , for $j = 1..J_m$.

(C) For $j = 1..J_m$ compute

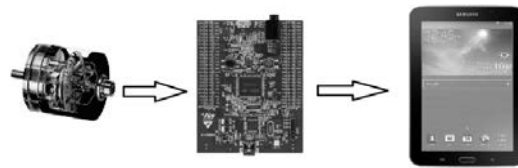
$$\gamma_{jm} = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} \sum_{x \in R_{ij}} L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma) \quad (17)$$

(D) Update

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + v \sum_{j=1}^{J_m} \gamma_{jm} I(x \in R_{ij}) \quad (18)$$

2.1. Thiết kế tổng quan

Tổng thể hệ thống đo lường gián tiếp nhiên liệu máy chính tàu thủy



Hình 2. Hệ thống đo lường gián tiếp nhiên liệu máy chính máy tàu thủy.

Hệ thống bao gồm ba phần chính gồm:

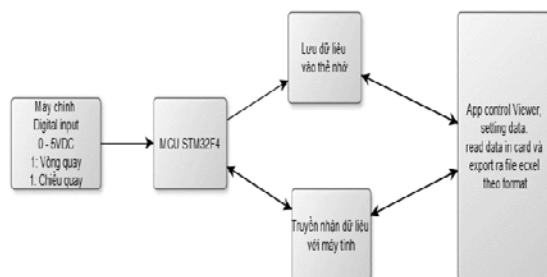
Thiết kế tổng quan;

Phần cứng;

Phần mềm;

2.1.1. Sơ đồ khối hệ thống

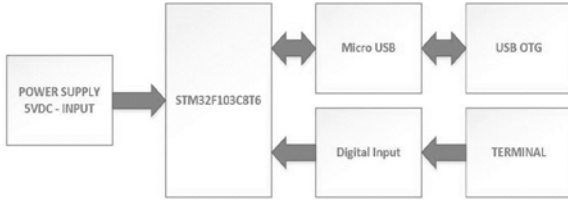
Tổng quan về hệ thống sẽ vận hành và thực hiện các tác vụ theo yêu cầu đã phân tích như sau:



Hình 3. Sơ đồ hệ thống.

2.1.2. Sơ đồ Layout PCB

Từ sơ đồ hệ thống ta sẽ tính toán và thiết kế bảng mạch gắn kết tất cả các linh kiện cho phù hợp và đáp ứng đầy đủ các yêu cầu hệ thống đặt ra như hình sau:



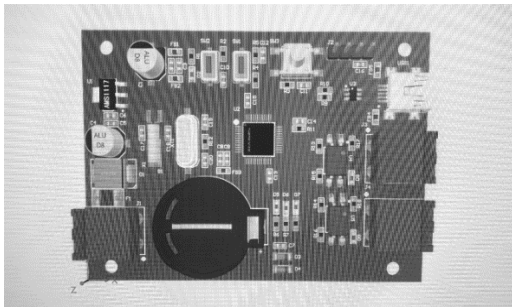
Hình 4. Sơ đồ Layout PCB hệ thống.

2.2. Phần cứng

2.2.1. Mạch điện

Hệ thống dùng mạch MUC STM32S4 để lấy các tín hiệu như sau:

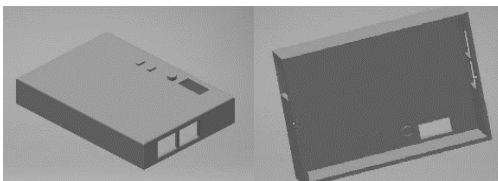
- Máy chính gồm: Vòng quay và chiều quay;
- Thực hiện lưu trữ dữ liệu vào bộ nhớ;
- Giao tiếp với máy tính để truyền nhận dữ liệu thông số lưu trữ dữ liệu.



Hình 5. Board mạch hệ thống.

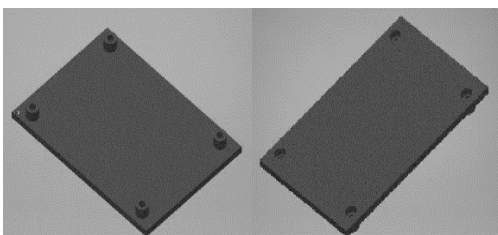
2.2.2. Vỏ hộp

- Mặt trước thiết bị

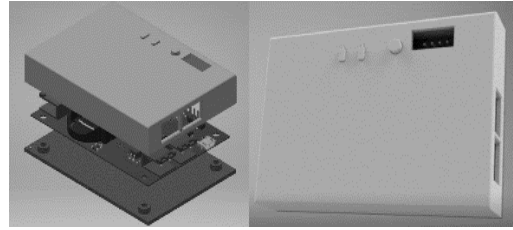


Hình 6. Mặt trước vỏ hộp.

- Mặt sau thiết bị

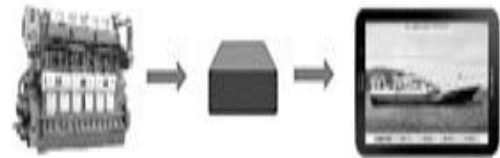


Hình 7. Mặt sau vỏ hộp.



Hình 8. Hộp hoàn thiện.

2.2.3. Sản phẩm



Hình 9. Thiết bị hoàn thiện.

2.3. Phần mềm

2.3.1. Trên board mạch

- Code thu thập và xử lý tín hiệu encoder:

```

if(HAL_GPIO_ReadPin(GPIO_DI_1, DI_1) ==GPIO_PIN_RESET)
{
    Dir=1;
}
else
{
    Dir=0;
}
Counter = Counter +1;
appending(str_send, '$');
appending(str_send, 'C');
sprintf(str_buff, "%d", Counter);
strcat(str_send, str_buff);

appending(str_send, 'D');
sprintf(str_buff, "%d", Dir);
strcat(str_send, str_buff);
appending(str_send, '#');
CDC_Transmit_FS((uint8_t*)str_send, strlen((const char*)str_send));
    
```

Hình 10. Code lấy dữ liệu vòng quay.

2.3.2. Trên máy tính

Phần mềm ứng dụng trên hệ điều hành Android với mục đích hiển thị, cập nhật và lưu trữ ra tập tin (file) thông tin đo được từ thiết bị.



Hình 11. Phần mềm ứng dụng đo nhiên liệu tiêu hao máy chính tàu thủy.



Hình 12. Cài đặt các thông số tàu vào phần mềm đo nhiên liệu tiêu hao máy chính.



Hình 13. Đồng hồ hiển thị vòng quay và nhiên liệu tiêu thụ máy chính.

- Phần mềm trên máy tính:

Ta sử dụng ngôn ngữ lập trình C Sharp để viết phần mềm trên máy tính bàn hay laptop về phần mềm xử lý, biểu diễn đồ thị và xuất các kết quả đã được ghi nhật ký trên máy tính bảng Samsung Galaxy Tab3V.



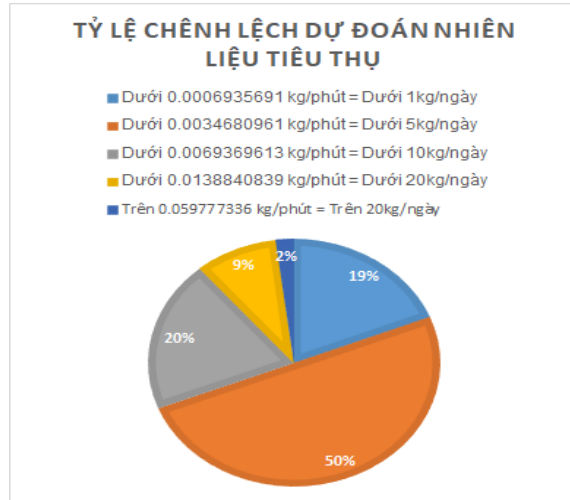
Hình 14. Hiển thị dữ liệu tiêu hao nhiên liệu dưới dạng biểu đồ.

3. Kết quả và thảo luận

Dựa vào công thức phân tích Máy học ở trên, vận dụng vào con tàu cụ thể là UT-GLory cho ra kết quả chạy thử so sánh đánh giá với nhiên liệu đã có.

Thực hiện training và dự đoán: Tiến hành trên bộ dữ liệu 40000 dòng dữ liệu của tàu UT-Glory có lượng tiêu hao nhiên liệu định mức máy chính là 306kg/h, vòng quay định mức máy chính là 500 vòng/phút và có trọng tải 2399 tấn. Chia bộ liệu trên ra 80% cho huấn luyện và 20% cho dự đoán. Khi thực hiện

training 80% dòng dữ liệu sử dụng thuật toán XGBoost, cho dự đoán dựa trên 20% dòng dữ liệu ta có bảng chênh lệch như sau:



Hình 15. Kết quả Training dựa vào thuật toán XGBoost.

Với tỷ lệ như trên, kết quả của việc dự đoán ta có thể chấp nhận được để người quản lý tàu sử dụng nhằm cấp nhiên liệu cho tàu ở chuyến hành trình mới một cách phù hợp. Ta thực hiện tính nhiên liệu tiêu thụ của tàu UT-Glory có:

- Lượng tiêu hao nhiên liệu định mức máy chính G_0 : 306kg/h;

- Vòng quay máy chính (giá trị trung bình) n : 290 vòng/phút;

- Vòng quay định mức máy chính n_0 : 500 vòng/phút;

- Lượng hàng chở thực T : 2000 tấn;

- Trọng tải của tàu T_0 : 2399 tấn;

Tổng số hiệu chỉnh: $C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 1.462070819$

Ta có:

$$G_{24} = 3.387073574 \frac{\text{tấn}}{\text{ngày}} = 2.35213443 \frac{\text{kg}}{\text{phút}}$$

Sử dụng XGBoost dự đoán:

$$T = 2000 \text{ và } n = 290 \text{ vòng/phút}$$

Ta dự đoán nhiên liệu tiêu hao trong 1 phút là 2.3448969 kg.

Chênh lệch giữa công thức G_{24} và thuật toán XGBoost là 20kg, giá trị này có thể chấp nhận được trong thực tế. Thay đổi:

$T = 2500 \text{ tấn}$ và $n = 250$ vòng/phút ứng với chuyến hành trình mới, ta có $G_{24} = 1.5849317535545024 \text{ kg/phút}$,

XGBoost dự đoán là 1.58526173 kg/phút. Chênh lệch 0.000329976445 gần bằng 0 kg.

4. Kết luận

Qua mô phỏng thực nghiệm của chuyến hành trình thực tế tàu UT-Glory, kết quả mô hình đưa ra chính xác với công thức tính toán. Trong thực tế khai thác mô hình mô phỏng sẽ ghi nhật ký theo từng phút tương ứng với vòng quay chân vịt của máy chính khi đó sẽ tính ra nhiên liệu tiêu thụ chính xác hơn. Bởi vì tương ứng với vòng quay chân vịt, công suất động cơ sẽ thay đổi, do vậy khi ta tính nhiên liệu ở thời gian càng ngắn, kết quả thu được có độ chính xác cao.

Ở đây, ghi nhật ký tính toán ở một phút có thể đáp ứng được với chuyến hành trình tàu kéo dài hành năm tương ứng với nhật ký, lưu ra file có gần 600000 dòng dữ liệu (khoảng 30000 KB), với dung lượng này thì bộ nhớ 32 Gigabyte có thể đáp ứng được cho chuyến hành trình kéo dài trong thời gian vài năm mà không lo bị tràn bộ nhớ.

Dữ liệu càng nhiều, hệ thống sẽ cho ra kết quả càng hiệu quả và chính xác hơn thông qua các thuật toán máy học XGBoost.

Giao thông vận tải là một trong những ngành có nhu cầu năng lượng rất lớn, nghiên cứu đề tài có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong lĩnh vực kinh tế nhiên liệu nhằm mục đích góp phần đáng kể vào kiểm soát nhiên liệu thất thoát, tạo sự an tâm cho người quản lý cũng như thống nhất tránh tranh cãi giữa quản lý và đội tàu. Sản phẩm này được ứng dụng mang lại hiệu quả kinh tế khá lớn, bởi vì khả năng dự đoán và cả kiểm soát nhiên liệu tạo sự thống nhất và an tâm từ hai phía quản lý và đội tàu trong quá trình vận hành sẽ mang lại hiệu quả cao nhất khi khai thác.

Tài liệu tham khảo

- [1] GS.TS. Lê Viết Lượng, ThS. Nguyễn Anh Việt (2008), *Giải pháp kiểm soát lượng nhiên liệu động cơ diesel tiêu thụ trong quá trình khai thác - solutions to control the fuel consumption of diesel engine during its operation*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải (số 13), pp. 70-73.
- [2] ThS. Nguyễn Hùng Vượng, TS. Khiếu Hữu Tiến, ThS. Võ Đình Phi, (2010), *Tính toán tiêu thụ nhiên liệu máy chính tàu biển - calculation of fuel consumption for main diesel engines*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải (Số 24), pp. 13-15.
- [3] David A. Schrady, Gordon K. Smyth and Robert B. Vassian (1996), *Predicting ship fuel consumption*, Naval Postgraduate School Monterey, CA 93943.
- [4] David Hand, Heikki Mannila, Padhraic Smyth, *Principles of Data Mining*, MIT Press, 2001.
- [5] David L. Olson, Dursun Delen, *Advanced Data Mining Techniques*, Springer-Verlag, 2008.
- [6] Hans Otto Kristensen, Marie Lützen (2013), *Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships*, Project no. 2010-56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, Work Package 2, Report no. 04.
- [7] Jiawei Han, Micheline Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, Second Edition, Morgan Kaufmann Publishers, 2006.
- [8] J.M.J. Journée and J.H.C. Meijers (2001), *Ship Routeing for Optimum Performance*, Rapport 0529-P, 1980, Mekelweg 2, 2628 CD Delft, The Netherlands.
- [9] K.J.Rawson and E.C. Tupper (2001), *Basic Ship Theory*, Reed Educational and Professional Publishing Lid and of Reed Elsevier plc group, Firrst published by Longman Group Limited 1968.

Ngày nhận bài: 9/1/2020

Ngày chuyển phản biện: 13/1/2020

Ngày hoàn thành sửa bài: 3/2/2020

Ngày chấp nhận đăng: 10/2/2020