

XÂY DỰNG GIẢI THUẬT PHÁT HIỆN SỰ DI CHUYỂN CỦA XE QUÂN SỰ SỬ DỤNG CẢM BIẾN TỪ TRƯỜNG

DEVELOPING AN ALGORITHM FOR DETECTING THE MOVEMENT OF MILITARY VEHICLE USING MAGNETIC FIELD SENSORS

TS. Trần Lê Thái¹, TS. Vũ Văn Quang^{2*}, ThS. Nguyễn Hữu Bình¹

¹Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc Phòng

²Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: quang.vuvan1@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp phát hiện và phân biệt sự di chuyển của xe quân sự sử dụng cảm biến từ trường ba trục và Mạng Nơ-ron. Nghiên cứu trích xuất các đặc trưng thống kê của tín hiệu từ trường để nhận diện sự biến thiên do phương tiện gây ra. Thuật toán được thiết kế cho hệ thống nhúng hiệu suất thấp, đảm bảo độ chính xác cao trong môi trường nhiễu. Kết quả thực nghiệm đạt độ chính xác 94,8% khi phân loại xe quân sự và xe dân sự, khẳng định tiềm năng ứng dụng trong giám sát an ninh quốc phòng.

Từ khóa: Phát hiện phương tiện quân sự; Cảm biến từ trường; Mạng Nơ-ron; Phân loại tín hiệu; Đặc trưng thống kê.

ABSTRACT

This paper presents a method for detecting and distinguishing the movement of military vehicles using triaxial magnetic field sensors and Neural Networks. The study extracts statistical features from magnetic field signals to identify variations caused by vehicle movement. The algorithm is designed for low-performance embedded systems, ensuring high accuracy in noisy environments. Experimental results achieve a classification accuracy of 94.8% in distinguishing military vehicles from civilian vehicles, highlighting the potential applications in national security surveillance.

Keywords: Military vehicle detection; Magnetic field sensor; Neural Network; Signal classification; Statistical features.



1. MỞ ĐẦU

Trong những năm qua, việc phát hiện sự di chuyển của các loại xe quân sự đã được nghiên cứu và phát triển trong nhiều hệ thống giám sát và cảnh báo an ninh quốc phòng. Các cảm biến từ trường đã được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống này để ghi nhận sự biến thiên từ trường do sự xuất hiện của các phương tiện kim loại [1]. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng cảm biến từ trường là công cụ hữu ích trong việc phát hiện các vật thể kim loại lớn, như xe quân sự, nhờ vào khả năng nhạy cảm với sự thay đổi từ trường của các đối tượng này [2, 3].

Mặc dù các phương pháp phân loại truyền thống dựa trên ngưỡng vẫn được sử dụng nhờ tính đơn giản và dễ dàng triển khai, chúng thường không hiệu quả trong các môi trường có nhiều yếu tố gây nhiễu hoặc khi có sự di chuyển của nhiều đối tượng cùng lúc [4]. Vì lý do này, nhiều nghiên cứu đã chuyển sang sử dụng các thuật toán học máy để giải quyết vấn đề này, đặc biệt là với các mô hình phân loại có khả năng học và tổng quát tốt trong môi trường phức tạp [5].

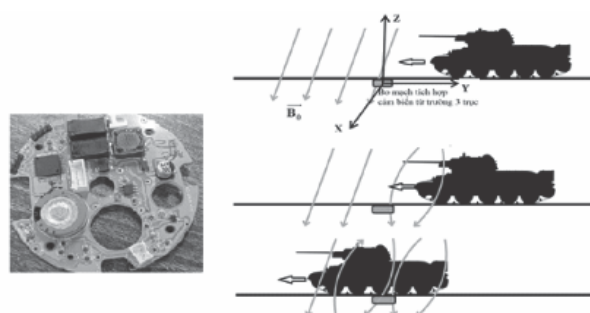
Trong số các phương pháp học máy được sử dụng, Mạng Nơ-ron (Neural Networks) đã được chứng minh là công cụ mạnh mẽ và hiệu quả trong việc phân loại và phân tích các dữ liệu phức tạp, đặc biệt là khi dữ liệu có sự thay đổi theo thời gian hoặc các yếu tố nhiễu từ môi trường [6, 7].

Mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển một giải thuật phân loại sử dụng Mạng Nơ-ron có khả năng phân biệt sự di chuyển của xe quân sự so với xe dân sự, cụ thể ở đây là xe tăng T54 và xe hơi dân sự. Đặc trưng tín hiệu xây dựng trên các đặc trưng thống kê trong cửa

số khảo sát – được không chế bởi kỹ thuật cài đặt ngưỡng. Việc sử dụng Mạng Nơ-ron trên đặc trưng tín hiệu với số chiều hạn chế đảm bảo khả năng triển khai trên các hệ thống nhúng với khả năng tính toán hạn chế.

2. THU THẬP DỮ LIỆU VÀ TRÍCH XUẤT ĐẶC TRƯNG

2.1. Xây dựng thí nghiệm thu thập dữ liệu



Hình 1. Bo mạch phát triển tích hợp cảm biến từ trường 3 trục (trái) và sơ đồ bố trí thí nghiệm thu thập tín hiệu của mục tiêu (phải).

Trong nghiên cứu này, một bo mạch phát triển tích hợp cảm biến từ trường 3 trục loại bán dẫn LIS3MDL được phát triển và trong thí nghiệm được cố định trên mặt đất – trên đường di chuyển của đối tượng mục tiêu, với tần số lấy mẫu là 80 Hz. Khi bo mạch thu nhận tín hiệu được bố trí cố định, và không có sự di chuyển của các phương tiện cũng như những nguồn phát từ lớn, giá trị từ trường đo được bởi cảm biến là từ trường trái đất tại vị trí quan sát. Khi phương tiện cơ giới đi qua vị trí quan sát, nó làm thay đổi từ trường xung quanh cảm biến do các phương tiện này được cấu tạo bởi một lượng lớn các thành phần mang từ trường như khung thép, động cơ, v.v... Quá trình thay đổi từ trường này được mô tả như trong hình 1. Thực nghiệm được diễn ra tại Vĩnh Yên với các xe tăng T54 và các xe hơi dân sự.

2.2. Biến đổi và trích xuất đặc trưng tín hiệu

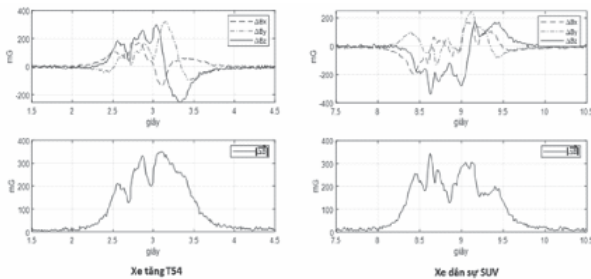
Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng các thuật chính: Ngưỡng và Chuẩn hóa cho biến thiên từ trường kết hợp với các đặc tính thống kê.

Theo đó, tại từng thời điểm đo, hệ thống xác định vector biến thiên từ trường:

$$\overline{\Delta B} = (\Delta B_x, \Delta B_y, \Delta B_z) = \overline{B} - \overline{B}_0 = (B_x - B_{xe}, B_y - B_{ye}, B_z - B_{ze}) \quad (1)$$

Ở đây, $\overline{B}_0 = (B_{xe}, B_{ye}, B_{ze})$ là vector từ trường trái đất tại vị trí quan sát; $\overline{B} = (B_x, B_y, B_z)$ là kết quả đo vector từ trường tức thời tại vị trí quan sát.

Hình 2 mô tả một số ví dụ dữ liệu biến thiên từ trường đo được trong các trường hợp sử dụng phương tiện quân sự T54 và xe hơi dân sự dạng SUV.



Hình 2. Dữ liệu thay đổi từ trường theo 3 trục và biên độ thay đổi từ trường dưới tác động của xe tăng T54 và xe hơi dân sự SUV.

Có thể nhận thấy rằng, mức biên độ từ trường gây ra bởi xe tăng T54 và xe hơi dân sự SUV là tương đối giống nhau (vào khoảng 400 mG), mặc dù trọng lượng của xe tăng T54 là lớn hơn đáng kể so với xe hơi dân sự. Điều này có thể giải thích bởi, gầm của xe hơi dân sự thấp hơn so với gầm của xe tăng T54, dẫn tới một số nguồn từ trường của xe hơi được bố trí sát mặt đất hơn nhiều so với T54, theo đó tác động lên độ lớn của biên độ biến thiên từ

trường. Do đó, để có thể xây dựng thuật toán phân biệt sự di chuyển của hai đối tượng này qua cảm biến từ trường, cần trích xuất những đặc trưng cần thiết. Mặt khác, cần chú ý rằng, vận tốc di chuyển của các đối tượng mục tiêu khác nhau nên các đặc trưng trích xuất cũng không bị hạn chế bởi số lượng mẫu cũng như tốc độ lấy mẫu.

Kỹ thuật ngưỡng: Kỹ thuật Ngưỡng được sử dụng để phát hiện sự thay đổi đột ngột của tín hiệu từ trường, cho thấy sự hiện diện của một vật thể kim loại lớn. Ngưỡng T [mG] được xác định từ các thử nghiệm thực nghiệm, theo đó T = 50 mG. Theo đó, cửa sổ khảo sát được giới hạn bởi bất đẳng thức:

$$|\overline{\Delta B}| \geq T \quad (2)$$

Từ đó, với mỗi dữ liệu thực nghiệm, ta xác định được cửa sổ khảo sát với các mẫu đo (hình 3):

$$(\Delta B_{x1}, \Delta B_{y1}, \Delta B_{z1}), (\Delta B_{x2}, \Delta B_{y2}, \Delta B_{z2}), \dots, (\Delta B_{xN}, \Delta B_{yN}, \Delta B_{zN})$$

Chuẩn hóa tín hiệu: Vì các đối tượng mục tiêu xe quân sự khác nhau đáng kể cả về khối lượng lẫn cấu trúc xe, nên các dữ liệu biên độ từ trường theo 3 trục cần được chuẩn hóa. Mặt khác, liên quan đến việc bố trí cảm biến nên vị trí các trục x, y có thể bị thay đổi một cách ngẫu nhiên. Để chuẩn hóa và cân bằng dữ liệu, chúng tôi áp dụng kỹ thuật Chuẩn hóa cho sự biến thiên của tỷ lệ từ trường trên trục z so với các trục x, y.

$$m_i = \frac{\Delta B_{zi}}{\sqrt{(\Delta B_{xi}^2 + \Delta B_{yi}^2 + \Delta B_{zi}^2)}}, \text{ với } i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Xây dựng đặc trưng tín hiệu: Trong nghiên cứu của chúng tôi, để giảm ảnh hưởng

của các yếu tố môi trường, vị trí cài đặt cũng như sự khác biệt về vận tốc di chuyển của các đối tượng mục tiêu. Các đặc trưng thống kê sau đây được sử dụng [8].

- Giá trị trung bình:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i \quad (4)$$

- Độ lệch chuẩn:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_i - \mu)^2} \quad (5)$$

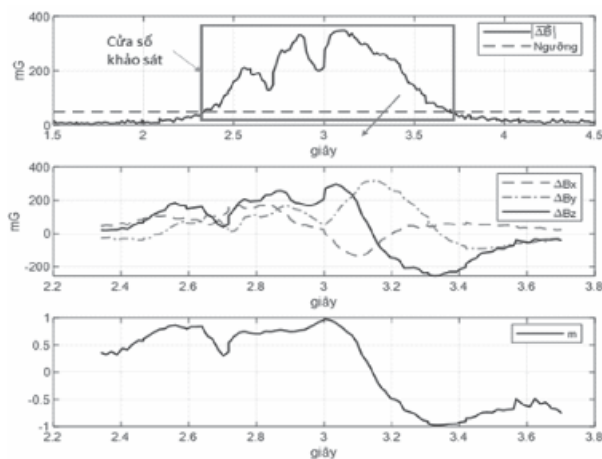
- Hệ số bất đối xứng (Skewness):

$$s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{m_i - \mu}{\sigma} \right)^3 \quad (6)$$

- Độ nhọn (Kurtosis):

$$\kappa = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{m_i - \mu}{\sigma} \right)^4 \quad (7)$$

Theo đó, một tập hợp dữ liệu thu được với vector đặc trưng $X = (\mu, \sigma, s, \kappa)$ được gán nhãn $Y = 1$ nếu đó là đặc trưng của xe quân sự T54, và gán nhãn $Y = -1$ nếu đó là đặc trưng của xe hơi dân sự.

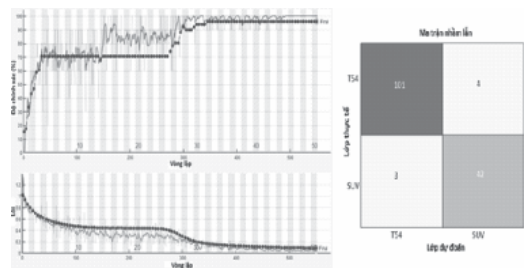


Hình 3. Cài đặt ngưỡng và chuẩn hóa dữ liệu cho cửa sổ khảo sát

3. ĐÀO TẠO VÀ KẾT QUẢ PHÂN LOẠI DỮ LIỆU

Mạng Nơ-ron trong nghiên cứu có cấu trúc bao gồm 4 đầu vào, tương ứng với số chiều của đặc trưng $X = (\mu, \sigma, s, \kappa)$; 03 nơ-ron ở lớp ẩn, và 02 đầu ra. Mạng nơ-ron thực hiện chuẩn hóa Z-score cho dữ liệu đầu vào, giúp đưa các đặc trưng về cùng một quy mô, tránh tình trạng đặc trưng nào đó có giá trị quá lớn ảnh hưởng đến quá trình huấn luyện. Tập dữ liệu gồm 500 kết quả đo lường, trong đó có 350 mẫu thuộc về T54 và 150 mẫu thuộc về xe hơi dân sự SUV. Tập dữ liệu này được chia thành hai phần ngẫu nhiên theo tỉ lệ: 70% cho việc huấn luyện mạng Nơ-ron và 30% còn lại cho việc kiểm tra. Việc huấn luyện dữ liệu được thực hiện với sự giúp đỡ của phần mềm MATLAB. Hình 4 mô tả Biểu đồ lỗi theo từng vòng lặp trong quá trình đào tạo dữ liệu và Ma trận nhầm lẫn – đánh giá kết quả hoạt động của mô hình phân lớp.

Kết quả đánh giá cho thấy, độ chính xác của mô hình phân lớp đạt tới 94,8 %. Cần nhấn mạnh rằng, độ chính xác này đạt được là do sự hạn chế của số dữ liệu đo. Kết quả đánh giá này cũng chỉ ra sự hữu dụng trong việc sử dụng các đặc tính thống kê của tín hiệu và mô hình phân loại trên Mạng Nơ-ron trong áp dụng thực tế, để phân biệt sự di chuyển của phương tiện quân sự là xe tăng so với các phương tiện xe hơi dân sự.



Hình 4. Biểu đồ lỗi trong quá trình Huấn luyện mạng Nơ-ron (trái) và Ma trận nhầm lẫn của Mạng Nơ-ron sau khi được huấn luyện (phải)

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng và thử nghiệm một giải thuật mới dựa trên Mạng Nơ-ron để phân loại tín hiệu từ trường nhằm phát hiện và phân biệt các phương tiện quân sự, đặc biệt là xe tăng, thông qua cảm biến từ trường ba trục. Bằng cách sử dụng các đặc trưng thống kê từ tín hiệu từ trường, mô hình đã đạt được độ chính xác 94,8 % trong phân loại xe quân sự và xe dân sự, ngay cả khi hoạt động trong các môi trường có nhiễu nhiễu.

Kết quả của phương pháp này chứng tỏ tiềm năng trong việc ứng dụng cho các hệ thống giám sát an ninh quốc phòng, nơi các yêu cầu về tiết kiệm năng lượng và hiệu quả triển khai là rất quan trọng. Kết quả nghiên cứu cũng gợi mở hướng phát triển thuật toán trong các tình huống thực tế phức tạp hơn, chẳng hạn như phân loại nhiều loại phương tiện quân sự với các đặc trưng di chuyển khác nhau. ❖

Ngày nhận bài: **12/11/2024**

Ngày phản biện: **09/12/2024**

Tài liệu tham khảo:

[1]. Marcin Bugdol, Zuzanna Segiet, Michał Kręćichwost, “*Vehicle detection system using magnetic sensors*”. Transport Problems 9(1):49-60, 2014.

[2]. Vytautas Markevicius et. al., “*Dynamic Vehicle Detection via the Use of Magnetic Field Sensors*”. Sensors 16(1), 2016.

[3]. Kritika Malhotra, Yankit Kumar, “*Challenges to implement Machine Learning in Embedded Systems*”. Conference: 2020 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN), 2020.

[4]. Lindsey A. Bowman et. al., “*Vehicle Detection and Attribution from a Multi-Sensor Dataset Using a Rule-Based Approach Combined with Data Fusion*”. Sensors, 23(21), 8811, 2023.

[5]. Tatsuya Kaneko et. al., “*A study on a low power optimization algorithm for an edge-AI device*”. Nonlinear Theory and Its Applications IEICE, 10(4):373-389, 2019.

[6]. Qin Qiu, “*The application of neural network algorithm and embedded system in computer distance teach system*”. Journal of Intelligent Systems, 31(1):148-158, 2022.

[7]. Bahareh Khabbazan, Sattar Mirzakuchaki, “*Design and Implementation of a Low-Power, Embedded CNN Accelerator on a Low-end FPGA*”. 22nd Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), 2019.

[8]. Jain, A.K., Duin, R.P., & Mao, “*Statistical Pattern Recognition: A Review*”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(1), 4-37, 2000.