



CHẨN ĐOÁN TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT HỘP SỐ CƠ KHÍ TRÊN CƠ SỞ MẠNG NƠON RBF

Nguyễn Minh Tiến^{1*}, Nguyễn Việt Hùng¹, Vũ Đức Mạnh²

Tóm tắt: Bài báo trình bày các ưu việt của hệ thống chẩn đoán sử dụng cấu trúc mạng nơon với khả năng “học” để nhận dạng các lỗi. Hệ thống chẩn đoán kết hợp với mạng nơon sẽ làm tăng tính khách quan của kết luận chẩn đoán và phát hiện lỗi chính xác hơn. Mô hình chẩn đoán phát hiện lỗi trong hệ thống truyền lực cơ khí được trình bày làm minh họa cho phương pháp xây dựng hệ thống chẩn đoán mạng nơon. Phần cuối của bài báo đề cập đến khả năng ứng dụng của mạng nơon trong hệ thống chẩn đoán lỗi hộp số cơ khí, trên cơ sở đó có thể áp dụng để chẩn đoán các hệ thống tương tự trên các phương tiện cơ giới.

Từ khóa: Chẩn đoán kỹ thuật; hộp số cơ khí; mạng nơon RBF; huấn luyện mạng; tình trạng kỹ thuật.

Diagnosing technical status of the mechanical gearbox on the basis of neural network RBF

Abstract: This paper shows the advantages of a diagnostic system using neural network structure with the ability to “learning” to identify errors. Diagnostic systems in combination with neural networks will increase the objectivity of diagnostic findings and detect errors more accurately. The error detection model in the mechanical transmission system is presented as an illustration of the method of constructing a neural network diagnostic system. The last part of this paper deals with the applicability of neural networks in the mechanical gearbox diagnostic system, which can be used to diagnose analogue systems in the vehicle.

Keywords: Technical Diagnosis; Mechanical gearbox; RBF neural network; Network training; Technical status.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 13/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 13, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Trong trang bị kỹ thuật xe bánh xích sử dụng rộng rãi các hệ thống cơ khí. Các hệ thống này làm tăng hiệu suất làm việc của các cụm, chi tiết cơ khí. Tuy nhiên, do tính phức tạp của hệ thống nên việc đánh giá tình trạng kỹ thuật (TTKT), phát hiện hư hỏng gặp nhiều khó khăn. Để giải quyết vấn đề này, các hệ thống chẩn đoán tự động, hệ thống tự chẩn đoán ngày càng được nghiên cứu, sử dụng và hoàn thiện. Các hệ thống chẩn đoán này có thể tích hợp trong cùng kết cấu với hệ thống cơ điện tử hoặc là các hệ thống, thiết bị riêng rẽ.

Do tính phức tạp của hệ thống truyền lực cơ khí trên xe bánh xích, khả năng thu thập được các thông số chẩn đoán hạn chế [7,2]. Tập thông số chẩn đoán không nhiều mà dải biên lớn, chính vì vậy sử dụng các phương pháp chẩn đoán kỹ thuật truyền thống như chẩn đoán rung động, logic mờ... chưa đưa ra được kết quả chẩn đoán có độ tin cậy cao. Mạng nơon RBF có cấu trúc của não người, có khả năng “học” đã giải quyết được vấn đề chẩn đoán hệ thống truyền lực dạng cơ khí trên.



2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Khái niệm mạng nơon

Mạng nơon nhân tạo là mô hình tính được cấu tạo bởi một số lượng lớn các nút (thường được gọi là nơon) và liên kết giữa chúng. Mỗi nút được đặc trưng một hàm đầu ra (hàm tích cực hóa) [1,6,5]. Mỗi kết nối giữa các nút đặc trưng bởi trọng số của liên kết được thể hiện trên Hình 1.

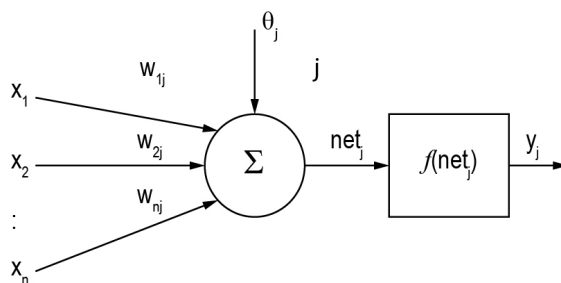
¹TS, Học viện Kỹ thuật quân sự.

²KS, Học viện Kỹ thuật quân sự.

*Tác giả chính. E-mail: minhhtien91998@yahoo.com.

trong đó: x_i với $i=1,2,\dots,n$ là các tín hiệu đầu vào; w_{ij} với $i=1,2,\dots,n$ là các trọng số tương ứng với đầu vào; θ_j là ngưỡng kích hoạt của nơron j ; net_j là tín hiệu tổng hợp đầu vào của nơron j ; $f(net_j)$ là hàm kích hoạt; y_j là tín hiệu ra của nơron j .

Đầu vào của nơron nhân tạo gồm n tín hiệu x_i với $i=1,2,\dots,n$. Mỗi tín hiệu đầu vào tương ứng với một trọng số w_{ij} , nó thể hiện mức độ ảnh hưởng của tín hiệu x_i đến nơron j . Tín hiệu đầu vào của một nơron có thể là dữ liệu từ bên ngoài mạng, hoặc đầu ra của một nơron khác, hoặc là đầu ra của chính nó. Nhằm tăng khả năng thích nghi của mạng nơron trong quá trình học, người ta sử dụng thêm một tham số (Bias) gán cho mỗi nơron. Tham số đó còn gọi là trọng số của nơron, ta kí hiệu trọng số của nơron thứ j là θ_j .



Hình 1. Cấu tạo 1 nơron nhân tạo

Các tín hiệu đầu vào của mỗi nơron được tổng hợp bằng một bộ cộng, kết quả cho ta một giá trị gọi là net_j của nơron thứ j . Ta giả định net_j là hàm của các tín hiệu x_i và các trọng số w_{ij} . Có nhiều cách để tính tổng tín hiệu vào của nơron, có thể là [6,3,5]:

$$net_j = x_1 w_{1j} + x_2 w_{2j} + \dots + x_n w_{nj} = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} \quad (1)$$

$$\text{hoặc } net_j = \max[\min(x_i, w_{ij})], i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

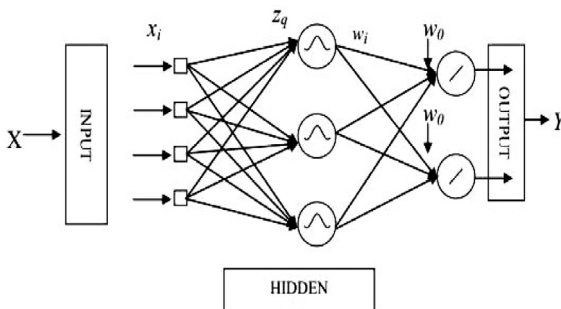
Nếu $w_{ij} > 0$ thì nơron được coi là đang ở trạng thái kích thích. Ngược lại, nếu $w_{ij} < 0$ thì nơron ở trạng thái kiềm chế. Sau khi tổng hợp được tín hiệu đầu vào net_j , sử dụng hàm kích hoạt f biến đổi net_j để thu được tín hiệu đầu ra out_j .

$$y_j = out_j = f(net_j) \quad (3)$$

Một nơron bao gồm các liên kết nhận tín hiệu vào bao gồm các số thực x_i cùng các trọng số kết nối w_i tương ứng với nó, hàm F gọi là hàm kích hoạt để tạo tín hiệu ra dựa trên giá trị hàm tổng có trọng số của các giá trị đầu vào, Y là giá trị đầu ra của nơron. Ta có thể biểu diễn một nơron nhân tạo theo công thức toán học như sau:

$$Y = F\left(w_0 + \sum_{i=1}^n x_i w_i\right) \quad (4)$$

Mạng RBF được Moody và Darker đề xuất năm 1989 dựa trên sự tương đồng giữa khai triển RBF với mạng nơron một lớp ẩn. Khả năng xấp xỉ của các hàm phi tuyến của mạng có thể thừa nhận từ hai lý do. Một là, nó là một kiểu khai triển RBF. Hai là, nó tương đương với hệ thống mờ và là một công cụ xấp xỉ vạn năng. Đặc biệt mạng RBF Gauss sẽ là một kiểu mạng "có một số người thắng", nên có thể áp dụng luật học không giám sát của Kohonen mở rộng. Điều này có thể giải thích từ cách suy diễn kiểu NẾU-THÌ của hệ thống mờ tương đương. Mạng nơron RBF thường sử dụng cấu trúc 3 lớp. Do các đầu ra độc lập với nhau nên có thể coi RBF là cấu trúc MISO với nhiều đầu vào và một đầu ra. Mô hình RBF thuộc nhóm mạng nơron học có mẫu: Đáp ứng đầu ra của mạng sẽ cố gắng "học" đáp ứng cho sẵn [3,6,5]. Cấu trúc của mạng RBF được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Cấu trúc mạng nơron RBF

Mạng RBF là một loại mạng nơron nhân tạo truyền thẳng gồm có ba lớp. Nó bao gồm n nút của lớp đầu vào cho vector đầu vào $x \in R$, N nơron ẩn (giá trị của nơron ẩn thứ k chính là giá trị trả về của hàm cơ sở bán kính φ_k) và m nơron đầu ra. Đặc điểm cơ bản của mạng RBF là sử dụng hàm bán kính: Hàm bán kính là hàm chỉ phụ thuộc vào khoảng cách Euclide từ đối số x đến một điểm c (gọi là tâm) cho trước [3]:

$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c\|) = \varphi(r) \quad (5)$$

$$\text{với } r = \|x - c\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - v_i^k)^2}$$

Một số hàm bán kính:

- Hàm Gaussian: $\phi(r) = \exp(-\beta r^2)$
- Hàm đa thức: $\phi(r) = r^{2k} \ln r$
- Khoảng cách: $\phi(r) = \sqrt{r^2 + \beta^2}$

trong đó: ϕ là hàm cơ sở hoặc hàm kích hoạt của mạng; v^k là tâm của mỗi hàm cơ sở bán kính ϕ_k ;

- Lớp ẩn được kích hoạt tương ứng với véc tơ trọng số $w = (w_1, w_{2q}, w_3, \dots, w_n)$.
- Lớp ra lấy tổng của các véc tơ giá trị đầu ra z_q và véc tơ trọng số w_q .

$$y = \sum_{q=1}^C w_q z_q \quad (i = 1 \dots n; q = 1 \dots C) \quad (6)$$

Ưu điểm của mạng RBF là thời gian huấn luyện ngắn, việc thiết lập rất nhanh và đơn giản. Mạng RBF có thể được huấn luyện theo phương pháp bình phương tối thiểu hoặc phương pháp lan truyền ngược.

2.2 Huấn luyện mạng RBF

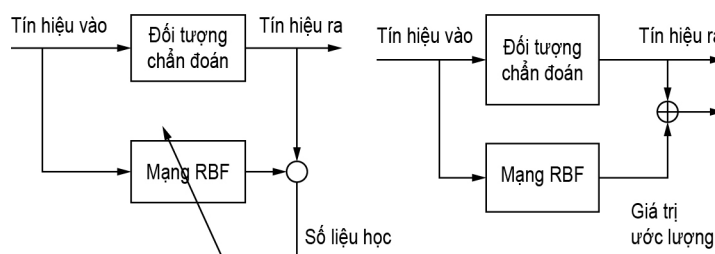
Với tập mẫu học $D = \{x_i, y_{ii=1}^N\}$ ta phải tìm các tham số của mạng bao gồm: trọng số $W = (w_1, \dots, w_D)^T$, tâm của các hàm bán kính $C = \{c_1, \dots, c_D\}$, tham số của các hàm bán kính $B = \{\beta_1, \dots, \beta_D\}$ [6,3,5].

Trong thực tế, việc lựa chọn tâm và bán kính tối ưu là công việc khá phức tạp. Do vậy, người ta thường chọn tâm dạng cách đều hoặc trùng với mẫu học và các bán kính có kích thước đồng đều. Sau đó, thử với các giá trị bán kính khác nhau đạt đến yêu cầu thử.

3. Ứng dụng mạng nơron RBF trong phương pháp chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hộp số cơ khí

3.1 Các giai đoạn chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hộp số xe tăng T-55 bằng mạng RBF

Các thông số đầu vào sẽ được đưa tới các nút vào của mạng RBF, mạng RBF cố gắng mô phỏng các hàm đơn trị bất kỳ bằng tổng của các hàm cơ sở đầu ra. Độ chính xác của phép mô phỏng phụ thuộc vào sự phân biệt đầu vào. Do vậy, hoàn toàn có thể đạt đến độ chính xác bất kỳ bằng cách cung cấp số lượng mẫu học đủ lớn. Mô hình này sẽ được ứng dụng trong các phần tiếp theo để phân tích các mô hình cấu trúc đã xây dựng [3,5,6]. Sơ đồ hệ thống chẩn đoán với khâu ước lượng sử dụng mạng RBF được mô tả trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống chẩn đoán với khâu ước lượng sử dụng mạng RBF

Trên cơ sở phân tích cấu trúc mạng nơron và phương pháp chẩn đoán dựa trên ước lượng thông số, bài báo tập trung đề xuất cấu trúc sử dụng mạng nơron RBF theo phương pháp ước lượng thông số. Trong đó khâu đối chứng được xây dựng trên cơ sở ước lượng thông số bằng mạng RBF [3,6]:

Bài toán được thực hiện qua 2 giai đoạn:

Giai đoạn 1: Thu thập số liệu và luyện mạng: Số liệu đầu vào và đầu ra của đối tượng được thu thập và tổng hợp làm mẫu học cho mạng. Các trọng số W_k được xác lập.

Giai đoạn 2: Chẩn đoán: Mạng nội suy giá trị ra theo số liệu vào từ hệ thống thực. Kết quả nội suy được so sánh để đánh giá tình trạng của hộp số.

Như vậy, ta có thể xác định được tập các thông số đầu vào tối ưu cho bài toán này là: Độ ồn, nhiệt độ, góc quay trơn trục bị động, lượng mặt kim loại, thông số đầu ra là tình trạng kỹ thuật của hộp số. Chẩn

đoán là quá trình dựa vào các biểu hiện có thể nhận biết được bằng kinh nghiệm hay máy móc để phán đoán được “hồng học” của đối tượng. Triệu chứng chính là những biểu hiện gián tiếp bên ngoài của các hư hỏng bên trong.

Để chẩn đoán được tình trạng kỹ thuật hộp số cơ khí trước hết phải phát hiện được các thay đổi diễn ra trong quá trình sử dụng và sau đó xác định được ảnh hưởng của từng thay đổi đó đến khả năng làm việc của hộp số. Hộp số cơ khí có kết cấu gồm các cụm bánh răng thường xuyên ăn khớp và được quay trên các ổ trượt, ổ đỡ nhằm thay đổi lực kéo của xe [2,7,4]. Do đó những thông số xác định tình trạng kỹ thuật của chúng có mối liên hệ đan xen, bao hàm lẫn nhau. Để chọn được các thông số đại diện ta phải tìm ra được các thông số chủ yếu có chứa đựng nhiều thông tin về các thông số còn lại ở trong nó, hay nói cách khác là phải đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các thông số.

Trong quá trình khai thác, sử dụng ở các đơn vị, nhà máy, hộp số cơ khí thường xuất hiện những hư hỏng cơ bản: Mòn bánh răng, ổ đỡ, ổ trượt từ đó dẫn đến những triệu chứng thường xảy ra trong quá trình sử dụng đó là: sự thay đổi nhiệt độ của dầu bôi trơn, có tiếng ồn trong quá trình làm việc, góc quay trơn của trục bị động thay đổi, ngoài ra có hiện tượng xuất hiện nhiều hạt kim loại trong dầu bôi trơn tăng lên [2]. Các thông số vào/ra của hệ thống được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số chẩn đoán hộp số cơ khí

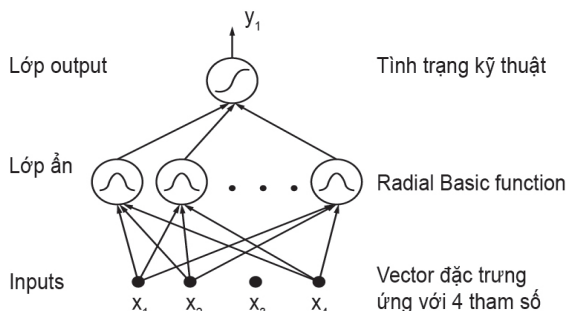
TT	Thông số vào	Ký hiệu	Thông số ra	Ký hiệu
1	Góc quay trơn của trục bị động (độ)	Anpha	Tình trạng kỹ thuật hộp số (%)	TTKT
2	Nhiệt độ dầu (°C)	Nhiệt độ		
3	Độ ồn (db)	Độ ồn		
4	Lượng hạt kim loại (g)	LMKL		

3.2 Xây dựng mô hình chẩn đoán hộp số kiểu cơ khí

Cấu trúc mạng RBF lựa chọn cho bài toán ước lượng thông số có dạng như Hình 4.

3.3 Chương trình chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hộp số xe tăng T-55

Qua khảo sát tại nhà máy cũng như ở đơn vị sửa chữa, ta thấy tham số nhiệt độ bắt đầu thấp nhất là 40°C tương ứng với nhiệt độ khi bắt đầu sử dụng. Nhiệt độ cao nhất là 120°C cũng là nhiệt độ cao nhất khi sử dụng. Như vậy từ nhiệt độ 40°C đến 120°C ta chọn làm thông số chứa tất cả các giá trị nhiệt độ cần thiết khi sử dụng hộp số. Vậy thông số nhiệt độ nằm trong giới hạn từ 40°C đến 120°C. Thông số về lượng hạt kim loại: $(1 \div 10) \cdot 10^{-3}g$. Thông số về độ ồn: $8 \div 30$ db. Thông số về góc quay tự do của trục bị động: $\alpha = (1 \div 4)$ độ. Mẫu để huấn luyện mạng và mẫu test được thể hiện trong Bảng 2, 3.

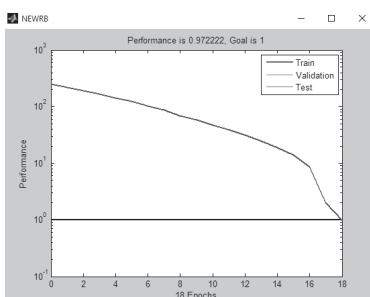


Hình 4. Cấu trúc mạng nơ ron nhân tạo RBF cho bài toán chẩn đoán hộp số cơ khí

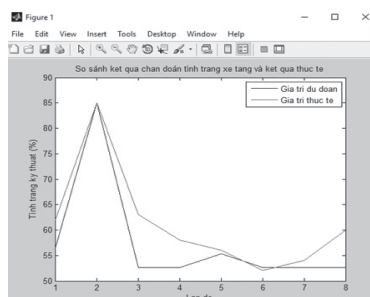
x_1 - Góc quay trơn của trục bị động (độ); x_2 - Nhiệt độ dầu (°C); x_3 - Độ ồn (db); x_4 - Lượng hạt kim loại (g).



Hình 5. Chương trình chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hộp số cơ khí bằng mạng nơ ron RBF



Hình 6. Đồ thị mục tiêu huấn luyện mạng nơ ron RBF



Hình 7. Đồ thị mẫu test khi huấn luyện mạng nơ ron RBF

Đánh giá kết quả: Sau khi huấn luyện mạng với mẫu Train và đưa mẫu Test thử ta có TTKT ($y = f_x(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots)$). Đây là hàm chuẩn, ta có một hàm TTKT $y = \varphi_x(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots)$ ta huấn luyện mạng tức là thay đổi các trọng số $w_1, w_2, w_3, w_4, \dots$ để sao cho mục tiêu hàm $\varphi_x \rightarrow f_x = 10^0$ (Hình 5,6). Trên đồ thị (Hình 7) ta thấy ở lần huấn luyện thứ 1, giá trị dự đoán TTKT (58-85%) và giá thực tế TTKT (62-85%). Với bộ số liệu để huấn luyện mạng như trên đạt giá trị gần như mong muốn thì với thông số bất kỳ ngẫu nhiên nào đưa vào chạy chương trình mạng nơron RBF cho ta kết quả chẩn đoán TTKT còn lại của hộp số đến chu kỳ sửa chữa tiếp theo. Ví dụ nhiệt độ hộp số là 100°C , lượng mặt kim loại là $8 \times 10^{-3}\text{g}$, độ ồn là 20 db, góc quay của trục bị động là 4 độ, thì chương trình chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của hộp số còn lại là 68% đến chu kỳ sửa chữa tiếp theo.



4. Kết luận

Nghiên cứu chẩn đoán tình trạng kỹ thuật hệ thống truyền lực nói chung và hộp số cơ khí nói riêng trên xe tăng thiết giáp có ý nghĩa thực tiễn nhằm xác định tình trạng kỹ thuật và dự báo hành trình dự trữ còn lại của hộp số trong quá trình khai thác và sử dụng xe tăng. Bài báo sử dụng phương pháp mạng nơron RBF và công cụ Neural Network Toolbox của phần mềm Matlab để chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của hộp số cơ khí. Áp dụng phương pháp trên có thể chẩn đoán các hệ thống, cơ cấu tương tự trên các phương tiện cơ giới.

Tài liệu tham khảo

1. Bùi Công Cường, Nguyễn Doãn Phước (2001), *Hệ mờ, mạng nơ ron và ứng dụng*, Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội.
2. Nguyễn Khắc Trai (2007), *Kỹ thuật chẩn đoán ô tô*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải.
3. Nguyễn Văn Nghĩa (2012), *Ứng dụng mạng nơron trong chẩn đoán TTKT động cơ điện đầu kéo của đầu máy*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật.
4. Birger A.I. (1978), *Tekhnicheskia diagnostika*, M.: Mashinostroenie..
5. Kruglov V. (2001), *Iskusstvennie neyronnie seti, Teoria I praktika*. M.: Goriachia Linia.
6. Zlobin V. (2011), *Neyronset i neyrocompeter*, Peter.: BKHV-Peterburg.
7. Dolgov N.N., Kokin V.F., Stepanov N.F. (1969), *Rukovodstvo po materialnoi chaste i ecspluataxia tanka T-55*, Voennoe izdatelstvo.

Bảng 2. Mẫu để huấn luyện mạng

Nhiệt độ ($^\circ\text{C}$)	LMKL ($\times 10^{-3}\text{g}$)	Độ ồn (db)	Góc $\alpha(o)$	TTKT (%)
40	1	8	1	100
50	2	9	1	98
76	3	15	1	79
55	7	16	2	75
90	4	18	3	70
89	8	19	2	67
68	6	12	1	89
80	5	14	1	85
95	7	25	2	58
66	7	17	3	72
58	2	15	2	80
86	6	19	2	67
105	8	26	3	56
87	7	13	2	90
115	9	29	4	53
110	6	28	3	52
83	4	22	3	64
120	9	30	4	50

Bảng 3. Mẫu test

Nhiệt độ ($^\circ\text{C}$)	LMKL ($\times 10^{-3}\text{g}$)	Độ ồn (db)	Góc $\alpha(o)$	TTKT (%)
100	7	21	4	68
80	5	14	1	81
82	6	20	2	70
102	8	27	3	58
96	7	25	2	56
115	8	30	4	52
65	5	29	4	54
112	6,2	23	3	60