

PHÂN TÍCH SỰ CỐ HỆ THỐNG LÒ HƠI DỰA TRÊN HỆ THỐNG CHUYÊN GIA MỜ VÀ MẠNG NƠ-RON

LÊ ĐÌNH HIẾU, LÊ HOÀI ANH, NGÔ XUÂN CƯỜNG

TÓM TẮT

Bài báo trình bày vấn đề chẩn đoán sự cố hệ thống lò hơi dựa vào các dấu hiệu sự cố trong cơ sở dữ liệu vận hành theo thời gian thực. Áp dụng chế độ chẩn đoán song song của suy luận mờ và mạng nơ-ron để tối ưu hóa kết quả chẩn đoán sự cố. Bài báo đưa ra kết quả chế độ chẩn đoán song song của suy luận mờ và mạng nơ-ron cho chất lượng tốt nhất về độ chính xác với thời gian tính toán khoảng 14-37 giây.

Từ khóa: Hệ thống lò hơi; chẩn đoán sự cố lò hơi; suy luận mờ; mạng nơ-ron, mạng nơ-ron BP.

1. MỞ ĐẦU

Lò hơi là thiết bị quan trọng, có thể nói là trái tim của nhà máy điện, thực hiện quá trình đốt cháy nhiên liệu, sinh nhiệt, tỏa và giữ nhiệt trong buồng lửa, đồng thời truyền nhiệt lượng cho nước và hơi bên trong vách các ống, các ống nước nhận nhiệt, sôi và bốc hơi trong bao hơi. Lò hơi làm nhiệm vụ chuyển hóa năng lượng, biến năng lượng của nhiên liệu thành nhiệt năng của dòng hơi. Vận hành lò hơi an toàn, thiết bị làm việc tin cậy, bảo đảm đạt được chỉ tiêu kinh tế và an toàn cao nhất là ưu tiên hàng đầu của ban quản lý nhà máy điện. Theo dõi và quản lý thời gian thực, chính xác tình trạng vận hành lò hơi, chẩn đoán chính xác các sự cố của lò, ngăn ngừa sự cố lan rộng và thậm chí là tai nạn lớn [1]. Cơ chế suy luận và chẩn đoán mờ [2] trên quy tắc nhanh chóng xác định sự cố dựa vào thư viện mẫu sự cố và các quy tắc suy luận. Việc tạo ra và điều chỉnh tự động các hàm liên thuộc, quy tắc suy luận

dựa vào kinh nghiệm của chuyên gia và thiếu khả năng tự học [3]. Rất khó để thoát khỏi sự cố trong chẩn đoán sự cố. Tính ngẫu nhiên và mạng nơ-ron có khả năng tự học tốt, có thể học hỏi, bổ sung những kiến thức chưa biết để bù đắp cho những quy luật mờ còn thiếu [4]. Sự kết hợp hữu cơ của cả hai không chỉ phát huy ưu điểm mà còn bù đắp những khuyết điểm của chính chúng [5, 6].

2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH LÀM VIỆC VÀ ĐẶC ĐIỂM SỰ CỐ HỆ THỐNG LÒ HƠI

Đối với nhà máy nhiệt điện, thiết bị sinh hơi là lò hơi, trong đó bao hơi là thiết bị chứa nước và hơi. Lò hơi sinh nhiệt làm nước trong bao hơi chuyển thành hơi theo ống dẫn được đưa đến tuabin làm quay tuabin phát điện.

Để thực hiện suy luận mờ, ta cần thành lập nền tảng kiến thức thuận lợi cho việc tìm kiếm và so sánh trong suy luận mờ. Bảng 1 tóm tắt các sự cố điển hình, các nguyên nhân gây hư hỏng của lò hơi.

Bảng 1. Các sự cố điển hình của Lò hơi

STT	Loại hỏng hóc (nguyên nhân)	Trường hợp sự cố (hiện tượng)
E ₁	Thiếu nước cung cấp vào lò	Lưu lượng nước cấp giảm xuống nhanh, áp suất nước cấp giảm thấp, mực nước cấp vào lò giảm xuống còn áp suất, nhiệt độ hơi tăng lên.
E ₂	Lò đầy nước/Bộ giảm ôn bị rò nước	Lưu lượng nước cấp lớn hơn lưu lượng hơi rất nhiều, nhiệt độ hơi giảm thấp, trong đường ống hơi có nước xung kích.
E ₃	Soda hóa (sủi bọt bông) trong bao hơi	Mức nước dao động, nhiệt độ hơi xuống thấp nếu nghiêm trọng thì có hiện tượng xung kích trong đường hơi, hơi có hàm lượng muối lớn.
E ₄	Búa nước	Đường ống bị rung giật, phát ra âm thanh va chạm bên trong đường ống.
E ₅	Nhiệt độ hơi tăng cao	Phát ra tín hiệu, đồng thời có mùi khét ở đường ống hơi.
E ₆	Sự cố tắt lửa lò	Áp suất âm buồng lửa dao động khoảng cách lớn, lưu lượng hơi và áp suất hơi bỗng tụt xuống, nhiệt độ hơi đột ngột tăng trong chốc lát sau đó giảm xuống.
E ₇	Lò luyện cốc hỏng	Nhiệt độ khí thải tăng, tốc độ quạt gió vào tăng, nhiệt độ lò tăng.
E ₈	Bộ quá nhiệt bị hỏng	Buồng lửa dao động, áp suất hơi giảm thấp, nhiệt độ đường khói sau bộ quá nhiệt và khói thoát giảm thấp, lưu lượng nước cấp nhiều hơn lưu lượng hơi, khói ở ống khói có màu trắng & dòng điện quạt gió lớn.
E ₉	Ống sinh hơi bị nổ	Áp suất và nhiệt độ hơi giảm, trong buồng lửa có tiếng kêu khác thường, ở những chỗ không kín của buồng lửa có hơi nước và khói phun ra, áp suất buồng lửa dao động, quá trình đốt cháy không ổn định. Nhiệt độ đường khói giảm, lưu lượng nước lớn hơn lưu lượng hơi.

Từ bảng 1, ta áp dụng quy tắc mờ *IF ... THEN ...* dạng câu: *IF* tên thành phần *AND* tên sự cố *THEN* lý do sự cố *AND* độ tin cậy ζ .

Hệ thống lò hơi được cấu tạo bởi nhiều hệ thống con và mỗi hệ thống con chứa nhiều tập hợp con thiết bị. Do đó, có nhiều nguyên nhân dẫn đến sự cố của hệ thống lò hơi, có nhiều thông số cần được theo dõi trong quá trình làm việc. Quá trình tính toán mức độ cần xem xét trong quá trình lý luận. Bằng cách nhập giá trị theo thời gian thực, thu được lượng mờ theo mức độ các thành phần mờ hóa.

3. CHẨN ĐOÁN VÀ PHÂN TÍCH SỰ CỐ HỆ THỐNG LÒ HƠI

Trong lò hơi, các sự cố nghiêm trọng như: thiếu nước, đầy nước, nhiệt độ hơi tăng quá cao, chữa cháy lò và các sự cố chung bao gồm luyện cốc, búa nước, đồng phát thải hơi nước và nước, vỡ bộ quá nhiệt ở nhiệt độ cao và hỏng bộ gia nhiệt sơ bộ.

3.1. Phân tích chẩn đoán sự cố hệ thống lò hơi dựa trên suy luận mờ

Suy luận mờ được gọi là suy luận gần đúng, đó là quá trình suy luận đưa ra kết luận từ một tập hợp các quy tắc *IF - THEN* mờ và các dữ kiện đã biết. Cấu trúc của hệ thống suy luận mờ trong hệ thống gồm ba thành phần quan trọng: thư viện luật, thư viện hàm liên thuộc, suy luận mờ:

IF lưu lượng nước cấp > lưu lượng hơi bất thường *THEN* sự cố nước đầy bao hơi $CF = 0.85$.

Quy tắc chủ yếu được xác định bởi hình thức: tiền thức và hai hình thức của tiền thức:

a) Tham số + lượng mờ, trong đó lượng mờ bao gồm: tăng, giảm, tăng tức thì, giảm tức thời, v.v.

b) Tham số 1 + lượng so sánh mờ + tham số 2, trong đó lượng mờ so sánh bao gồm: lớn hơn, lớn hơn bất thường, nhỏ hơn, nhỏ hơn bất thường, v.v.

3.2. Các nguyên tắc cơ bản của suy luận mờ phân tích sự cố hệ thống lò hơi

Giả sử có m loại dấu hiệu sự cố có thể xảy ra, chúng được gọi là $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, có n nguyên nhân sự cố có thể xảy ra là $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$. Véc tơ triệu chứng sự cố: $X = (\mu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_2}, \dots, \mu_{\alpha_m})$ với $\mu_{\alpha_i} (i = 1, 2, \dots, m)$ là mức độ của đối tượng chẩn đoán với các triệu chứng sự cố α_i . Giá trị số của nó phản ánh mức độ rõ ràng của các triệu chứng sự cố và véc tơ mờ

của nguyên nhân sự cố $Y = (\mu_{\beta_1}, \mu_{\beta_2}, \dots, \mu_{\beta_n})$, trong đó $\mu_{\beta_j} (j = 1, 2, \dots, n)$ là mức độ của sự cố β_j của đối tượng chẩn đoán. Độ lớn giá trị phản ánh khả năng nguyên nhân sự cố. Y và X có mối quan hệ mờ như sau: $Y = XR$.

R là ma trận chẩn đoán mờ, mô tả mối quan hệ giữa các triệu chứng sự cố và nguyên nhân:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Các hàm liên thuộc được sử dụng để mô tả các biến mờ như: tăng, giảm, lớn hơn và vượt bất thường trong hệ thống:

Tăng lên:

$$\mu_t(e_i) = \begin{cases} 0 & ; & e_i < 0 \\ \xi / (1 + (e - \xi)^2) & ; & \xi \geq e_i \geq 0 \\ 1 & ; & e_i < \xi \end{cases} \tag{2}$$

$e_i(t)$: Đại diện cho lượng thay đổi; ξ : Giá trị giới hạn của thay đổi.

Giảm xuống:

$$\mu_g(e_i) = \begin{cases} 0 & ; & e_i > 0 \\ \xi / (1 + (e - \xi)^2) & ; & \xi \leq e_i \leq 0 \\ 1 & ; & e_i > \xi \end{cases} \tag{3}$$

$e_i(t)$: Đại diện cho lượng thay đổi; ξ : Giá trị giới hạn của thay đổi

Lớn hơn bất thường:

$$\mu_{big}(r_i, r_j) = \begin{cases} 0 & ; & r_i \leq r_j \\ 1 - \exp(-((r_i - r_j) / r_i)^2 / (2 \cdot \sigma^2)) & ; & r_i > r_j \end{cases} \tag{4}$$

r_i, r_j : tương ứng giá trị của tham số tại cùng một thời điểm; σ : Giá trị liên quan đến tham số.

Vượt quá giá trị cho phép:

$$\mu_{over}(r_i, r_j) = \begin{cases} 0 & ; & r_i \leq r_j \\ 1 - \exp(-((r_i - r_j) / r_i)^2 / (2 \cdot \sigma^2)) & ; & r_i > r_j \end{cases} \tag{5}$$

Bảng 2. Các sự cố thường gặp của hệ thống lò hơi và biểu diễn véc tơ

Lò đầy nước/Bộ giảm ôn bị rò nước	Thiếu nước cung cấp vào lò	Soda hóa (sủi bọt bông) trong bao hơi	Búa nước	Nhiệt độ hơi tăng cao	Sự cố tắt lửa của lò	Lò luyện cốc bị hỏng	Bộ quá nhiệt bị hỏng	Ống sinh hơi bị nổ
α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9

Bảng 3. Các nguyên nhân sự cố phổ biến hệ thống lò hơi và biểu diễn véc tơ

Nhiệt độ hơi giảm	Nhiệt độ hơi tăng	Dòng nước cấp < dòng hơi	Nhiệt độ hơi quá cao	Lò tăng áp suất âm	Tăng tốc độ quạt gió	Tăng nhiệt độ khí thải	Dòng điện quạt gió lớn	Áp suất gió máy thổi rất thấp
β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9

r_i, r_j : giá trị của tham số tại cùng một thời điểm; σ : Giá trị tham số lớn hơn bất thường.

Các tham số được sử dụng trong các hàm liên thuộc này chủ yếu được rút ra từ kinh nghiệm. Đối với các tham số khác nhau, các giá trị tham số được sử dụng trong hàm liên thuộc cũng khác nhau.

3.3. Xây dựng ma trận chẩn đoán mờ

Ma trận chẩn đoán mờ R của hệ thống xác định cụ thể bằng kết hợp giữa thống kê dữ liệu và kinh nghiệm của chuyên gia, thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Ma trận chẩn đoán mờ R dựa vào thống kê dữ liệu và kinh nghiệm của chuyên gia.

Các phần tử của ma trận thành viên S_{ij} từ dữ liệu thống kê: $S_{ij} = n_{(ij)} / N_{sum(ij)}$ (6)

$n_{(ij)}$: Số lần triệu chứng thứ i do nguyên nhân thứ j ; $N_{sum(ij)}$: Tổng số lần xuất hiện dấu hiệu thứ i .

Theo thống kê dữ liệu dài hạn, ta xây dựng dữ liệu thống kê để có được ma trận S_{ij} từ (6) [7]:

$$S_p = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0,61 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,42 & 0,21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0 & 0 & 0,4 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,41 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,51 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,21 & 0 & 0 & 0,25 & 0 & 0,61 & 0,59 & 0,51 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,21 & 0 & 0,41 & 0 \\ 0 & 0,101 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,69 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Các chuyên gia đánh giá mức độ phù hợp dựa trên kinh nghiệm và thu được ma trận E_{ij} [7]:

$$E_p = \begin{bmatrix} 0 & 0,541 & 0,262 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,461 & 0 & 0,56 & 0 & 0 & 0 & 0,21 & 0 & 0 \\ 0 & 0,42 & 0,281 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,31 & 0 & 0 & 0,47 & 0,152 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,45 & 0 & 0 & 0,58 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,55 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,251 & 0 & 0 & 0,245 & 0 & 0,62 & 0,597 & 0,55 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,31 & 0 & 0,458 & 0 \\ 0 & 0,101 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,657 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dữ liệu thu được bằng thống kê tại chỗ tương đối khách quan nên trọng số của dữ liệu thống kê sẽ cao hơn lượng nhỏ so với trọng số theo kinh nghiệm chuyên gia đưa ra là: $\mathbf{W}_1 = 0,6, \mathbf{W}_2 = 0,4$.

Từ $\mathbf{R} = \mathbf{S}_{ij} \mathbf{W}_1 + \mathbf{E}_{ij} \mathbf{W}_2$, thu được ma trận chẩn đoán mờ hệ thống:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0,300 & 0,2164 & 0,4648 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1844 & 25,200 & 0,3500 & 0 & 0 & 0 & 0,084 & 0 & 0 \\ 0,1200 & 0,1680 & 0,1124 & 0,24 & 0,060 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3660 & 0 & 0 & 0,4548 & 0,0608 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,4176 & 0 & 0 & 0,5232 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5800 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,251 & 0,2264 & 0 & 0,2480 & 0 & 0,6140 & 0,5928 & 0,5260 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2500 & 0 & 2,430 & 0 \\ 0 & 0,1010 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6768 \end{bmatrix} \quad (9)$$

4. PHÂN TÍCH VÀ CHẨN ĐOÁN SỰ CỐ LÒ HƠI

4.1. Chẩn đoán sự cố dựa trên suy luận hệ thống chuyên gia

Dựa trên thông tin thu thập: Nhiệt độ hơi nước có xu hướng giảm, tốc độ quạt hút duy trì ở mức cao, nhiệt độ khí thải và nhiệt độ lò đều có xu hướng tăng và ở mức tăng cao. Từ bảng 1, ta có ba quy tắc từ cơ sở kiến thức của chuyên gia:

1) IF nhiệt độ khí thải tăng THEN hỏng hóc do luyện cốc của lò: $CF = 0.5$.

2) IF Quạt gió quay rất nhanh THEN sự cố luyện cốc của lò nung $CF = 0.65$.

3) IF nhiệt độ lò tăng THEN sự cố do luyện cốc của lò $CF = 0.6$.

Qua suy luận trước của hệ thống chuyên gia, sự cố mỗi nồi lò có mức độ khớp cao nhất với đặc điểm sự cố thu thập được. Nhận định sơ bộ, lúc này có thể hệ thống lò hơi bị trục trặc do lò luyện cốc.

4.2. Chẩn đoán sự cố dựa trên suy luận mờ

Bằng cách tính toán mức độ các thành viên của ma trận nguyên nhân sự cố Y , ta thu được ma trận biểu hiện dấu hiệu sự cố như sau: $Y = [0; 0,2; 0; 0,4; 0; 0,5; 0,6; 0,7; 0]$

Từ công thức $Y = XR$, ta nhận được: $X = Y/R$. Ma trận chẩn đoán sự cố X thu được:

$$X = [0,20; 0,20; 0,24; 0,40; 0,232; 0; 0,593; 0,430; 0,101]$$

Dựa vào các giá trị của ma trận X , ta chẩn đoán sự cố thứ 7: $X_7 = 0,593 > X_{Error} = 0,5$ (50%), cụ thể X_7 là sự cố luyện cốc Lò hơi (tra trong bảng 2).

4.3. Chẩn đoán sự cố lò hơi dựa trên mạng nơ-ron

4.3.1. Mạng nơ-ron Back-Propagation Algorithm (BP) áp dụng chẩn đoán sự cố

Mô hình mạng nơ-ron BP có khả năng học mạnh mẽ, xử lý phi tuyến mạnh mẽ thông qua ánh xạ tổng hợp của các đơn vị phi tuyến và nhận ra ánh xạ phi tuyến tính được áp dụng trong bài toán chẩn đoán sự cố hệ thống lò hơi. Giai đoạn đào tạo mạng BP dựa vào số liệu tập đầu vào-ra với 09 mẫu chọn để học. Các giá trị vectơ của sự cố và nguyên nhân sự cố đều được đặt thành số nhị phân 0; 1.

Cấu trúc mạng BP có 9 đầu vào và 9 đầu ra. Trong bài báo này, số lượng lớp ẩn được chọn là 7, số nút của lớp ẩn sẽ là $7 \times 9 = 63$ và tổng số 81 nút với hàm đầu vào-ra của mỗi nút là hàm Sigmoid.

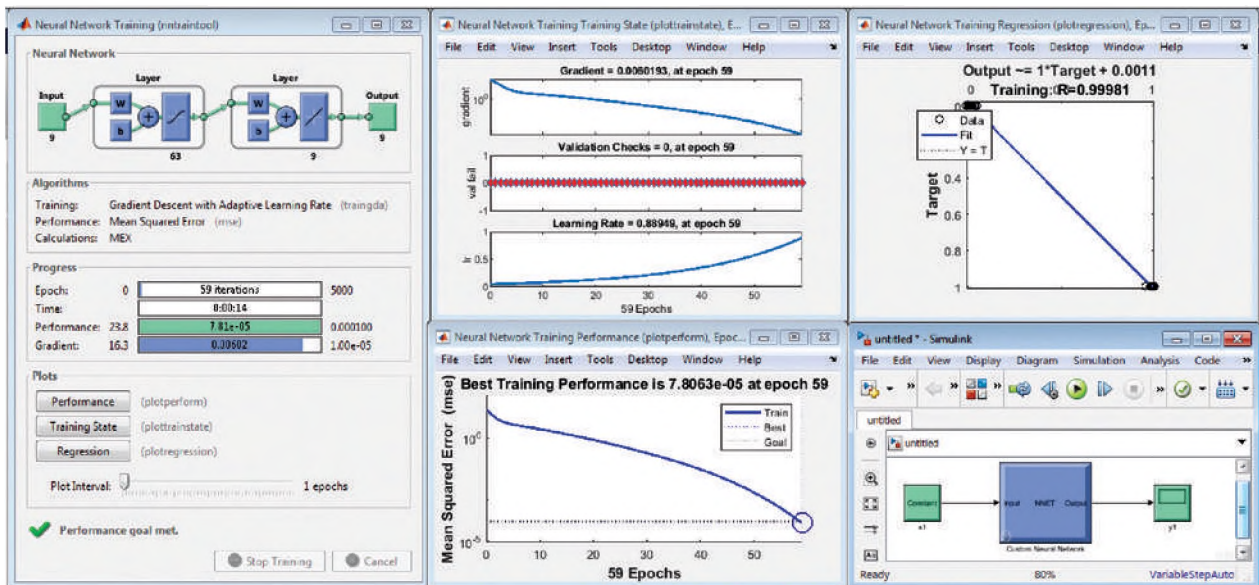
Khi quá trình đào tạo kết thúc, mạng nơ-ron đạt kết quả hội tụ:

TRAININGDA - calcgrad, Epoch: 0/3000, MSE: 7.7/0.0001, Gradient 3.9/1e-6
 TRAININGDA - calcgrad, Epoch 45/3000, MSE 8.8e-5/0.0001, Gradient 0.01/1e-6
 TRAININGDA, Performance goal met.

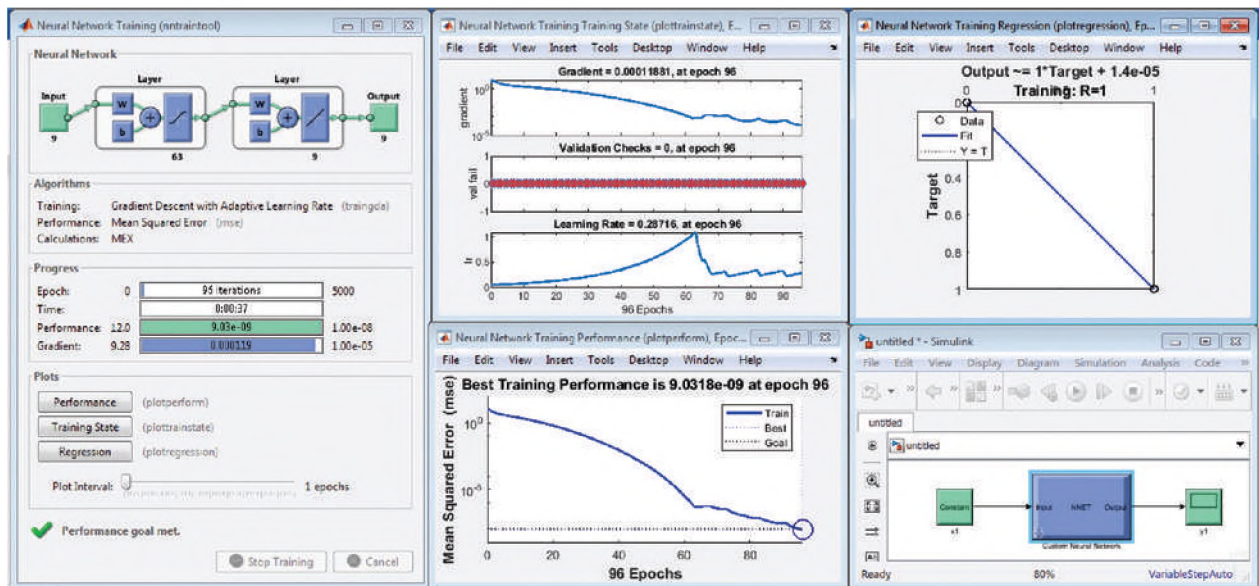
Các tập mẫu dữ liệu sau khi học kiểm tra kết quả đầu ra: $y = \text{sim}(\text{net}, P); \text{gensim}(\text{net})$.

4.3.2. Kết quả của quá trình nhận dạng sự cố dùng mạng nơ-ron BP

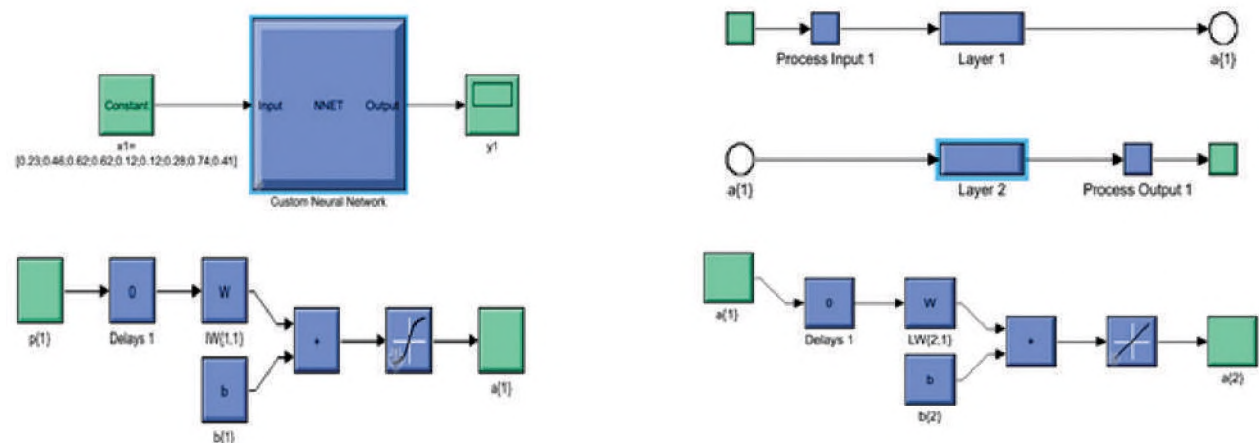
Từ kết quả tính toán nhận dạng sự cố dùng mạng nơ-ron BP (Hình 2-4) cho thấy mạng sự hội tụ rất nhanh và cho kết quả khá chính xác hơn so với chẩn đoán sự cố dựa trên suy luận mờ ở mục 4.2 như sau: Độ sai lệch 10^{-4} sau 59 chu



Hình 2. Kết quả hội tụ của mạng nơ-ron sau khi lập 59 chu kỳ với sai lệch 10^{-4}



Hình 3. Kết quả hội tụ của mạng nơ-ron sau khi lập 96 chu kỳ với sai lệch 10^{-9}



Hình 4. Cấu trúc của mạng nơ-ron BP áp dụng chẩn đoán sự cố lò hơi

kỳ với thời gian 14 giây. Độ sai lệch 10^{-8} sau 96 chu kỳ với thời gian 37 giây. Khi nhận dạng một sự cố bất kỳ diễn ra với độ chính xác chẩn đoán sự cố tăng lên (độ sai lệch càng nhỏ lại: $10^{-8} < 10^{-4}$) thì số chu kỳ vòng lặp tính toán tăng lên ($96 > 59$ (chu kỳ)) và mất nhiều thời gian hơn để tính toán ($37 > 14$ (giây)).

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày mạng nơ-ron BP để học, suy luận

mờ, hệ thống chuyên gia và phân tích cây sự cố, đồng thời tiến hành phân tích chi tiết hơn việc phát hiện sự cố của hệ thống lò hơi. Kết quả đã đáp ứng giá trị mục tiêu đã cho, bằng cách phát hiện các dấu hiệu sự cố trong cơ sở dữ liệu trong quá trình vận hành thời gian thực của lò hơi, dựa trên tính bổ sung của suy luận mờ và mạng nơ-ron. Chế độ chẩn đoán mạng nơ-ron được áp dụng cho kết quả suy luận của tác giả để xuất hội tụ nhanh và hiệu quả hơn❖

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ahmed, A.M.H.E. (2017). Boiler Control Design Using Fuzzy Logic. PhD Thesis. Sudan University of Science and Technology.
- [2] Wu, Y., & Lin, X. (2013, October). Research of boiler fault diagnosis based on fuzzy neural network. In 2013 International Conference on Information Science and Computer Applications (ISCA 2013). Atlantis Press.
- [3] Priya, M. S., Kanthavel, R., Saravanan, M. (2016). Fault Diagnostics on Steam Boilers and Forecasting System Based on Hybrid Fuzzy Clustering and Artificial Neural Networks in Early Detection of Chamber Slagging/Fouling. Circuits and Systems, 7(12), pp. 4046-4070.
- [4] Pawlak, M., J. Buchta, and A. Oziemski (2019). Fault diagnosis of sensors in the control system of a steam turbine. Journal of Automation, Electronics and Electrical Engineering, 1(1), pp. 29-36.
- [5] Zaccaria, V., et al. (2019). A Review of Information Fusion Methods for Gas Turbine Diagnostics. Sustainability, 11(22): 6202.
- [6] Yang, Y., Liang, C., Qing, Y., & Yawei, Z. (2009, May). Research on the Fault Diagnosis for Boiler System Based on Fuzzy Neural Network. In 2009 WRI World Congress on Software Engineering, pp. 128-132.
- [7] Ligeza, A., & Koscielny, J. (2008). A new approach to multiple fault diagnosis: A combination of diagnostic matrices, graphs, algebraic and rule-based models. The case of two-layer models. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 18(4), pp. 465-476.

Ngày nhận bài: 9/10/2021; Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 15/10/2021; Ngày chấp nhận đăng bài: 3/11/2021

Người phản biện: TS. Ngô Văn Quang Bình

Thông tin tác giả:

LÊ ĐÌNH HIẾU¹, LÊ HOÀI ANH^{2*}, NGÔ XUÂN CƯỜNG¹

¹ Khoa Kỹ thuật Công nghệ (HUET), Đại học Huế

² Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế (HuelC)