

# Thuật toán xác định vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng của cầu

(\*) NGUYỄN SỸ DŨNG

(\*\*) LÊ THANH TÙNG - NGÔ KIỀU NHI

Liên quan đến đề tài nghiên cứu, bài báo trình bày hai nội dung: Thứ nhất, giới thiệu một thuật toán mới, mang tên thuật toán VTHH, dùng để xác định vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng trên cầu dựa vào độ biến thiên thế năng biến dạng đàn hồi của cầu khi xuất hiện khuyết tật - được xác lập thông qua số liệu đo biên độ dao động. Trong đó, hệ thống suy diễn Neuro-Fuzzy được chúng tôi ứng dụng để nhận dạng cơ hệ ở giai đoạn chưa bị hư hỏng, là cơ sở để đánh giá mức độ suy giảm độ cứng chống biến dạng của cơ hệ ở hai thời điểm: thời điểm được nhận dạng và thời điểm kiểm tra. Nội dung thứ hai trình bày thí nghiệm đo biên độ dao động của cầu mô hình được chúng tôi thực hiện tại Phòng thí nghiệm Cơ học ứng dụng, trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh. Thí nghiệm nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu để kiểm chứng thuật toán VTHH, định hướng ứng dụng cũng như so sánh hiệu quả của thuật toán này với Phương pháp năng lượng đã được công bố.

## 1. Đặt vấn đề

Phương pháp xác định vị trí hư hỏng và mức độ hư hỏng của cầu dựa trên đặc điểm về biến thiên thế năng biến dạng đàn hồi của cầu - dạng dầm chịu lực khi xuất hiện khuyết tật của [5] và [8] có độ tin cậy khá cao khi ứng dụng cho các mô hình tính toán của cầu, ngay cả trong trường hợp số liệu đo có sai số và khuyết tật xuất hiện đồng thời tại nhiều phần tử với những mức độ hư hỏng khác nhau. Nguyên tắc của phương pháp này là cầu được phân chia thành nhiều phần tử nhỏ dạng dầm theo mô hình của phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Cho hệ dao động ở những tần số khác nhau ứng với các mode dao động khác nhau (gọi là các trạng thái dao động - TTDD). Đo chuyển vị nút tại những thời điểm khác nhau trước và sau khi có khuyết tật để tính các hệ số hư hỏng [5] hoặc tính hệ số hư hỏng trung bình [8] của từng phần tử. Phần tử có độ suy giảm độ cứng chống biến dạng EJ lớn nhất là phần tử có cơ số hư hỏng lớn nhất.

Trong bài báo này chúng tôi trình bày một thuật toán mới về xác định vị trí hư hỏng xuất hiện trên cơ hệ, thuật toán VTHH, được xây dựng trên cơ sở phát triển phương pháp năng lượng của [5], [8] và ứng dụng mạng Neuro - Fuzzy của [9]. Trong đó:

- Thuật toán VTHH dựa vào sự thay đổi thế năng biến dạng đàn hồi (TNBDDH) của phần tử để nhận biết vị trí khuyết tật trên cơ hệ. Tuy nhiên, khác với [5], ở đây chúng tôi thực hiện việc so sánh theo hai mức: so sánh tuyệt đối và so sánh tương đối. So sánh sự thay đổi tuyệt đối của TNBDDH trên từng phần tử ở hai thời điểm, thời điểm không hư và thời điểm kiểm tra nhằm xác định tình trạng suy giảm TNBDDH trên từng phần

tử. So sánh sự thay đổi tương đối của TNBDDH trên từng phần tử so với các phần tử còn lại trên cơ hệ tại mỗi thời điểm nhằm xác định phần tử có mức độ suy giảm lớn nhất, nghĩa là phần tử có khả năng bị phá hỏng sớm nhất trên cơ hệ.

- Để xác định được TNBDDH của cơ hệ ở hai thời điểm, thời điểm không hư hỏng và thời điểm kiểm tra chúng ta phải tiến hành đo biên độ dao động tại các điểm nút của từng phần tử trong cùng một TTDD. Việc này có thể thực hiện một cách dễ dàng trên mô hình toán - như đã được trình bày trong [5] và [8] nhưng lại rất khó thực hiện chính xác trên một cơ hệ thực tế vì khó có thể lặp lại một cách chính xác một TTDD ở hai thời điểm khác nhau trên một cơ hệ thực có cấu trúc phức tạp. Để giải quyết vấn đề này, trong bài viết này, chúng tôi sử dụng mạng Neuro - Fuzzy của [11] để nhận dạng cơ hệ trong mối quan hệ input - output là TTDD - chuyển vị. Đây là một mô hình suy diễn có cấu trúc thích nghi và cho độ chính xác đáp ứng cao, hoàn toàn phù hợp với bài toán này.

- Bài viết còn nhằm kiểm chứng hiệu quả của thuật toán được đề xuất cũng như đánh giá khả năng áp dụng thuật toán này trên các hệ thống cầu thực. Chúng tôi đã tiến hành thực hiện nhiều bài thí nghiệm đo động để xây dựng cơ sở dữ liệu cho các ứng dụng hai thuật toán VTHH và [5] trên một khung thí nghiệm giả lập cấu trúc, chế độ làm việc, và giả lập tình trạng suy giảm độ cứng chống biến dạng của một nhịp cầu tựa trên hai gối (khớp bản lề loại 4 và loại 5). Thí nghiệm được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Cơ học ứng dụng của trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.

(\*) Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

(\*\*) Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

## 2. Hệ số hư hỏng tương đối

Hệ số hư hỏng tương đối là cơ sở để thiết lập thuật toán VTHH được chúng tôi xây dựng dựa trên mức độ biến thiên thể năng biến dạng đàn hồi khi xuất hiện khuyết tật làm suy giảm độ cứng chống biến dạng của phần tử.

Chia cơ hệ ra thành  $N_e$  phần tử và kích thích cho hệ dao động. Thế năng biến dạng đàn hồi của phần tử thứ  $j$  ở trạng thái dao động thứ  $i$  được tính:

$$(1) \quad U_{ji} = \frac{1}{2} \int_{a_j}^{b_j} (EJ)_j [Y_j''(X)]^2 dX$$

trong đó,  $E$  là modun đàn hồi của vật liệu;  $J$  là momen quán tính tiết diện ngang của dầm; các cận  $a_j, b_j$  ứng với tọa độ nút hai đầu của phần tử  $j$  đang được khảo sát. Dựa vào [5] có thể suy ra tình trạng suy giảm độ cứng chống biến dạng của phần tử thứ  $j$  tại TTDD thứ  $i$  thông qua hệ số:

$$(2) \quad z_{ji} = \frac{1}{2} \int_{a_j}^{b_j} [Y_j''(X)]^2 dX$$

- Ở trạng thái không hư hỏng của cầu: Kích thích cho cầu dao động ở nhiều trạng thái dao động (TTDD) khác nhau. Đo biên độ dao động tại tất cả các phần tử trong từng TTDD để xây dựng tập mẫu cơ sở  $T_{\Sigma}$  gồm  $N_e$  tập mẫu phần tử. Tập mẫu phần tử thứ  $j$ , ứng với phần tử thứ  $j$ , có  $P$  cặp mẫu input - output,  $(\bar{x}_i, z_{ji})$ ,  $i = 1...P$ . Trong đó  $\bar{x}_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ ... \ x_{in}]$  là vector đặc trưng cho chế độ kích thích dao động của cơ hệ,  $z_{ji}$  được tính theo (2) và phép sai phân hữu hạn. Xây dựng Ne mạng neuro-fuzzy nhận dạng quan hệ  $(\bar{x}_i, z_{ji})$  khi cầu chưa hư hỏng cho tất cả các phần tử của cầu dựa trên. Mạng neuro - fuzzy nhận dạng phần tử thứ  $j$ , ký hiệu ENF<sub>j</sub>, có cấu trúc như trên Hình 1.

- Tại thời điểm kiểm tra: Thực hiện nhiều chế độ kích thích dao động ngẫu nhiên để tạo ra các TTDD<sub>test</sub> khác nhau. Ứng với mỗi TTDD<sub>test</sub> trong các TTDD<sub>test</sub> đo biên độ dao động của cơ hệ tại hai điểm nút và trung điểm của phần tử. Sử dụng (2) và phép sai phân hữu hạn để xây dựng tập dữ liệu  $T_{\Sigma test}$  gồm  $N_e$  tập mẫu phần tử. Tập mẫu phần tử thứ  $j$ , ứng với phần tử thứ  $j$ , có  $P_{test}$  cặp mẫu input-output,  $(\bar{x}_i, z_{ji})$ ,  $i = 1...P_{test}$ .

Trên phần tử thứ  $j$ : sử dụng tín hiệu vào input của tập mẫu kiểm tra  $T_{\Sigma test}$  cho mạng ENF<sub>j</sub> sẽ xác định được  $P_{test}$  giá trị  $\hat{z}_{ji}$  ở trạng thái không hư hỏng của cầu tương ứng với tất cả các TTDD trong TTDD<sub>test</sub> của phần tử này.

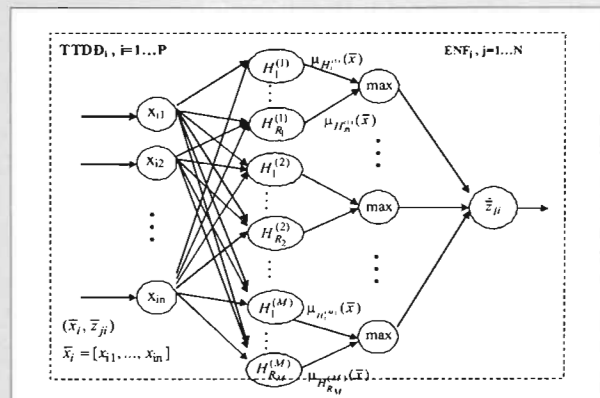
Hệ số hư hỏng tương đối: Trong  $P_{test}$  những trạng thái dao động  $\bar{x}_i$  thuộc tập  $T_{\Sigma test}$ , xác định độ lớn giá trị sai lệch tuyệt đối giữa  $\hat{z}_{ji}$  và  $z_{ji}$  ứng với từng TTDD, sau đó tính giá trị sai lệch tuyệt đối trung bình theo chuẩn tổng bình phương trung bình:

$$(3) \quad \Delta z_j = \frac{1}{P_{test}} \sum_{i=1}^{P_{test}} (\hat{z}_{ji} - z_{ji})^2 = \frac{1}{P_{test}} \sum_{i=1}^{P_{test}} (\varepsilon_{ji})^2$$

Hệ số hư hỏng tương đối được tính như sau:

$$(4) \quad \bar{\Delta z}_j = \frac{\Delta z_j}{\max_{k=1...N_e} [\Delta z_k]}$$

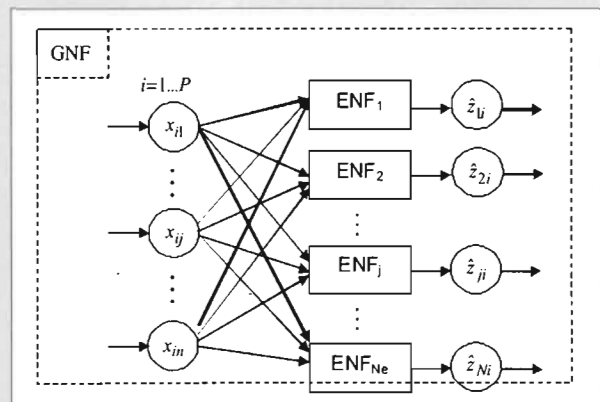
Hệ số hư hỏng tương đối phản ánh mức độ thay đổi thể năng biến dạng đàn hồi trong mỗi phần tử ở thời điểm kiểm tra so với thời điểm phần tử không bị hư hỏng, đồng thời hệ số hư hỏng còn thể hiện tình trạng suy giảm độ cứng chống biến dạng của từng phần tử so với các phần tử khác trên cơ hệ trong cùng một TTDD. Trong Ne phần tử trên cơ hệ, phần tử có độ lớn  $\Delta z_j$  càng lớn thì mức độ suy giảm độ cứng chống biến dạng của phần tử này càng lớn, do đó  $\bar{\Delta z}_j$  cho biết vị trí xuất hiện khuyết tật trên hệ.



Hình 1: Cấu trúc mạng Neuro-Fuzzy sử dụng cho một phần tử, ENF<sub>j</sub>,  $j=1...N$

## 3. Mạng NEURO-FUZZY nhận dạng cơ hệ

Sử dụng mạng Neuro - Fuzzy để nhận dạng từng phần tử (mạng ENF<sub>j</sub>) cũng như toàn bộ cơ hệ ở giai đoạn không hư hỏng (mạng GNF).



Hình 2: Cấu trúc mạng Neuro-Fuzzy sử dụng cho cầu, GNF

### 3.1. Mạng Neuro-Fuzzy nhận dạng một phần tử

Cấu trúc mạng của mạng Neuro - Fuzzy nhận dạng một phần tử (gọi tắt là mạng ENF, Element Neuro - Fuzzy Net) gồm 3 lớp: lớp vào, lớp ẩn và lớp ra (Hình 1, và được trình bày chi tiết trong [11]). Số neuron ở lớp vào phụ thuộc vào cấu trúc của không gian dữ liệu vào. Số neuron ở lớp ra bằng một. Số neuron của lớp ẩn được xác lập tự động thông qua quá trình huấn luyện mạng, liên quan tới yêu cầu về độ chính xác của phép xấp xỉ và đặc thù của không gian dữ liệu của tập dữ liệu huấn

luyện mạng. Tín hiệu ra mạng được tính:

$$(5) \hat{z}_i = \frac{\sum_{k=1}^M \mu_{\bar{B}_i^{(k)}}(\bar{x}_i) \cdot z_{ki}(\bar{x}_i)}{\sum_{k=1}^M \mu_{\bar{B}_i^{(k)}}(\bar{x}_i)} \quad (i = 1 \dots P)$$

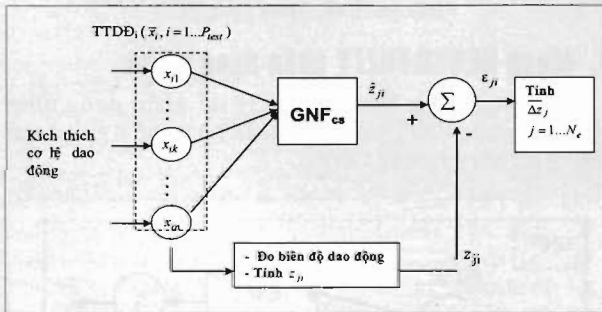
trong đó,  $\mu_{\bar{B}_i^{(k)}}(\bar{x}_i)$  là giá trị liên thuộc của mẫu  $\bar{x}_i, i=1 \dots P$  (tập mẫu huấn luyện mạng có P mẫu) vào tập mờ  $\bar{B}_i^{(k)}$  thứ k trong các tập mờ siêu hộp mang nhãn k;  $z_{ki}(\bar{x}_i)$  là tín hiệu ra của mẫu huấn luyện thứ i,  $i = 1 \dots P$ , theo siêu phẳng thứ k.

**3.2. Mạng neuro-fuzzy nhận dạng cơ hệ**

Nếu tập mẫu huấn luyện mạng có P cặp mẫu dữ liệu input - output, và cấu được chia thành Ne phần tử theo mô hình FEM thì mạng Neuro - Fuzzy nhận dạng cơ hệ ở trạng thái không hư hỏng (gọi tắt là mạng GNFcs - Global Neuro -Fuzzy Net) là sự kết hợp của Ne mạng ENFi ( $j=1 \dots Ne$ ) có cấu trúc giống nhau như trên Hình 1, và cùng chung lớp vào (Hình 2).

**4. Thuật toán xác định vị trí hư hỏng, VTHH**

Sơ đồ khối của thuật toán được trình bày trên hình 3



Hình 3: Nhận dạng vị trí khuyết tật dựa vào GNFcs. Ne là số phần tử được chia trên cơ hệ; Ptest là số TTDD được sử dụng để kiểm tra

**Bước 1:** Nhận dạng cấu ở trạng thái không hư hỏng.

Ở trạng thái không hư hỏng của cầu:

- Đo biên độ dao động của cầu ở nhiều TTDD khác nhau;

- Tính dựa vào (2);

- Xây dựng mạng ENFi nhận dạng từng phần tử và xây dựng mạng GNFcs nhận dạng tất cả các phần tử của cầu ở trạng thái không hư hỏng.

**Bước 2:** Kiểm tra tình trạng suy giảm độ cứng chống biến dạng của cầu (Hình 3).

Tại thời điểm kiểm tra:

- Đo biên độ dao động của cầu ở nhiều TTDD khác nhau;

- Tính dựa vào (2);

- Xác định dựa vào ENFi và GNFcs;

- Tính hệ số hư hỏng tương đối của từng phần tử dựa vào (3) và (4).

**Bước 3:** Xác định vị trí hư hỏng của cầu.

Phần tử có lớn so với các phần tử còn lại là phần tử

bị hư hỏng.

**Bước 4:** Điều kiện dừng.

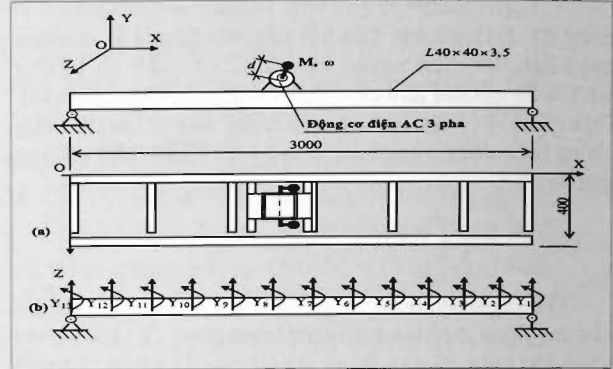
- Nếu tiếp tục kiểm tra: quay lại bước 2.

- Nếu không tiếp tục kiểm tra: dừng chương trình.

**5. Thí nghiệm kiểm chứng**

**5.1. Mô tả thí nghiệm**

Phần này trình bày thí nghiệm đo số liệu động được chúng tôi thực hiện tại Phòng thí nghiệm Cơ học Ứng dụng của trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.



Hình 4: Mô hình thí nghiệm

(a) Sơ đồ kết cấu của mô hình thí nghiệm; (b) Các phần tử theo phương pháp FEM

- Động cơ điện Đ mang khối lượng lệch tâm M được gắn chặt vào khung tại nhiều vị trí khác nhau như trên Hình 4. Độ lệch tâm Md được thay đổi vô cấp bằng cách điều chỉnh khoảng cách d. Sử dụng bộ biến tần để điều chỉnh vô cấp tốc độ góc của Đ.

- Khung sắt có chiều dài L=3m được chia thành 12 phần bằng nhau bởi 13 nút chia Y1,..., Y12.

- Sử dụng các cảm biến và thiết bị đo chuyển vị của Phòng thí nghiệm Cơ học Ứng dụng, trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh để đo biên độ dao động tại các điểm nút Y1, ..., Y12 của khung.

- Khi khung chưa bị hư:

Bằng cách thay đổi vị trí của Đ trên khung, thay đổi độ lệch tâm Md và thay đổi vận tốc góc của Đ chúng tôi đã tạo ra P=1200 TTDD của khung thí nghiệm. Đo biên độ dao động tại các điểm nút Y1, ..., Y12 ứng với từng TTDD để xây dựng tập dữ liệu gồm 1200 mẫu dữ liệu input - output. Đây là tập số liệu được sử dụng để huấn luyện mạng Neuro - Fuzzy cơ sở GNFcs nhận dạng từng phần tử trên cơ hệ ở trong tình trạng chưa bị hư hỏng.

- Tạo ra các vị trí hư trên khung:

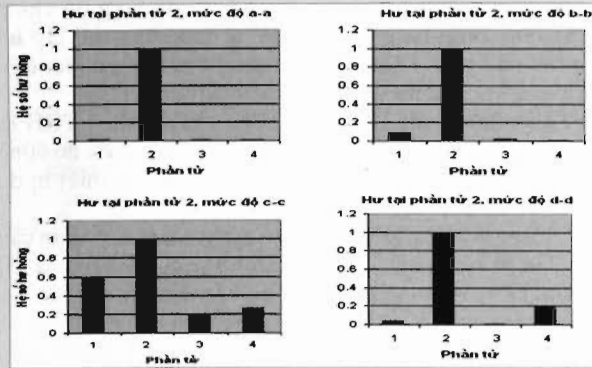
Cắt khung tại ba vị trí Y4+, Y6+ và Y10+ (Y4+ nằm tại trung điểm của đoạn Y4Y5; Y6+ nằm tại trung điểm của đoạn Y6Y7; Y10+ nằm tại trung điểm của đoạn Y10Y11) trong các trường hợp: 1/ chỉ cắt tại Y4+, 2/ chỉ cắt tại Y6+, và 3/ cắt đồng thời tại Y6+ và Y10+. Trong mỗi trường hợp nêu trên, mức độ suy giảm độ cứng chống biến dạng của khung, EJ, được thực hiện theo 4 mức: mức a-a suy giảm 1,56%, mức b-b suy giảm 4,90%, mức c-c suy giảm 11,16% và mức d-d suy giảm 23,40%. Ứng với mỗi mức độ suy giảm EJ, thay đổi TTDD, cụ thể là thay đổi độ lệch tâm, thay đổi vị trí của Đ và thay đổi vận tốc góc của Đ, chúng tôi đã xây dựng được tập có Ptest=48 mẫu dữ liệu input - output, được sử dụng

để kiểm chứng hiệu quả của thuật toán VTHH (mục 4) trong việc xác định vị trí hư hỏng xuất hiện trên cơ hệ.

**5.2. Các kết quả thí nghiệm**

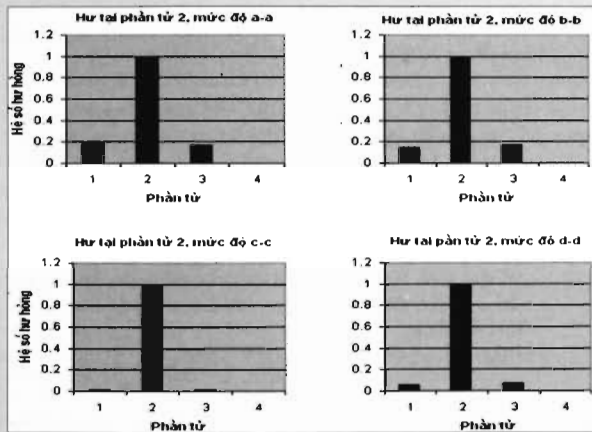
- Hư hỏng đơn và khung được chia thành bốn phần tử

Hình 5: Chia 4 phần tử. Hư tại Y4+ (phần tử 2) với bốn mức



độ khác nhau a-a, b-b, c-c, d-d

Hình 6: Chia 4 phần tử, hư tại Y6+ (phần tử 2)



với bốn mức độ khác nhau a-a, b-b, c-c, d-d

Trong thí nghiệm này, chúng tôi thực hiện việc kiểm chứng khả năng xác định vị trí bị suy giảm độ cứng chống biến dạng trên khung của thuật toán VTHH trong trường hợp khung được chia ra thành bốn phần tử có chiều dài bằng nhau, đồng thời tất cả các thí nghiệm đều được thực hiện ở tình trạng hư hỏng đơn - chỉ có một vị trí trên khung bị hư ở mỗi thí nghiệm. Bốn phần tử được chia theo thứ tự Y1-Y4, Y4-Y7, Y7-Y10, và Y10-Y13 dài bằng nhau, bằng L/4. Sử dụng thuật toán VTHH để xác định vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng của khung trong tám trường hợp sau:

- Cắt khung tại Y4+ với bốn mức a-a, b-b, c-c, d-d.
- Cắt khung tại Y6+ với bốn mức a-a, b-b, c-c, d-d.

Ở đây, hai điểm được dùng làm thí nghiệm (Y4+ và Y6+) là hai điểm phân biệt thuộc phần tử số 2.

Kết quả tính toán được trình bày trên các Hình 5 và 6. Các biểu đồ này cho thấy rằng trong trường hợp hư hỏng đơn với bốn mức hỏng nêu trên, thuật toán VTHH xác định đúng vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng của khung thí nghiệm, ngay cả mức độ hư hỏng thấp

(mức a-a).

- So sánh các kết quả của thuật toán VTHH và [5]

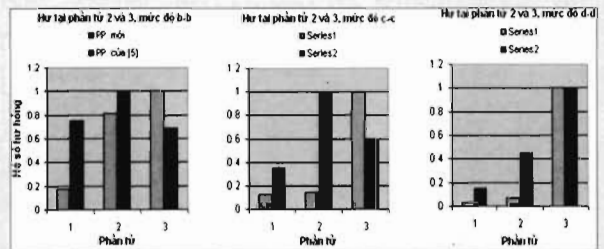
Khung thí nghiệm ở Hình 4 được chia thành 3 phần tử theo thứ tự Y1-Y5, Y5-Y9, và Y9-Y13 có độ dài bằng nhau, bằng L/3. Sử dụng VTHH và phương pháp năng lượng của [5] (gọi tắt là [5]) để xác định vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng của khung trong sáu trường hợp:

- Cắt khung tại Y6+ với ba mức b-b, c-c, d-d.
- Cắt khung đồng thời tại hai vị trí Y6+ và Y10+ với ba mức b-b, c-c, d-d.

Hình 7 trình bày kết quả thí nghiệm ứng với trường hợp hư hỏng đơn tại Y6+, thuộc phần tử số 2. Các biểu đồ cho thấy thuật toán VTHH xác định đúng vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng. Đối với [5], vị trí hỏng chỉ được xác định đúng khi mức độ hỏng tương đối cao: c-c và d-d (độ suy giảm theo thứ tự là 11,16% và 23,40%), còn ở mức độ hư hỏng bé hơn b-b (suy giảm 4,90%), phương pháp [5] xác định không chính xác.

Hình 8 trình bày kết quả thí nghiệm trong trường hợp hư hỏng kép: hỏng đồng thời tại Y6+, thuộc phần tử số 2, và tại Y10+, thuộc phần tử số 3. Các biểu đồ trên Hình 8 cho thấy rằng trong trường hợp hư hỏng đồng thời tại hai vị trí, kết quả cũng tương tự như trong trường hợp hư hỏng đơn: ở các mức hư hỏng khá lớn (c-c và d-d), cả hai phương pháp đều xác định chính xác vị trí suy giảm độ cứng chống biến dạng (phần tử 2 và 3); ở mức hư hỏng thấp hơn, b-b, chỉ VTHH xác định đúng, phương pháp [5] xác định sai vị trí.

Hình 7: Chia 3 phần tử. Hư tại Y6+ (phần tử 2) với bốn mức



độ khác nhau a-a, b-b, c-c, d-d

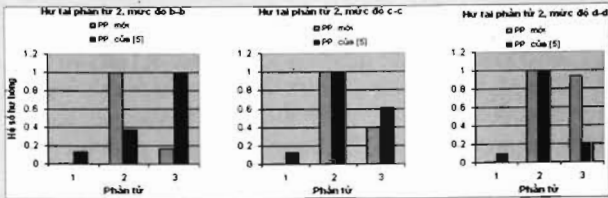
- Thay đổi nút giới hạn phần tử

Trong thí nghiệm này chúng tôi khảo sát cách phân chia phần tử và sự thay đổi độ chính xác trong việc xác định vị trí khuyết tật xuất hiện trong cơ hệ của cả hai phương pháp, thuật toán VTHH và [5], ứng với từng cách phân chia.

Khung thí nghiệm được chia thành ba phần tử nhưng theo hai cách chia khác nhau (Hình 9):

- Cách 1: Y1-Y5, Y5-Y9, và Y9-Y13 có độ dài bằng nhau, bằng L/3. Vị trí hư hỏng Y4+ nằm sát nút biên Y5.
- Cách 2: Y2-Y6, Y6-Y10, và Y10-Y13 có độ dài không bằng nhau. Vị trí hư hỏng Y4+ nằm gần nút giữa của phần tử 1, Y4. Để tính hệ số hư hỏng theo thuật toán VTHH và [5], phần tử thứ ba được đưa vào một nút ảo Y14. Khi đó phần tử này nằm trong khoảng Y10-Y14. Việc đưa Y14 vào nhằm đưa độ dài của ba phần tử bằng nhau và bằng L/3. Nút ảo Y14 không thuộc cơ hệ do đó có biên độ dao động Y14 luôn bằng zero.

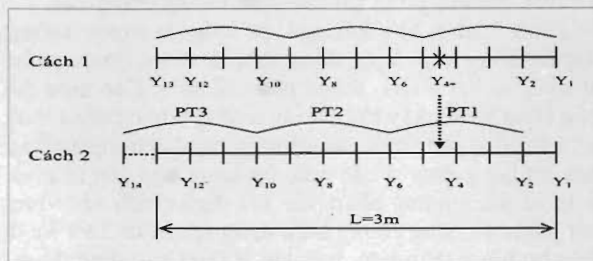
Hình 8: Chia 3 phần tử. Hư đồng thời tại Y6+ (phần tử 2) và



tại Y10+ (phần tử 3)

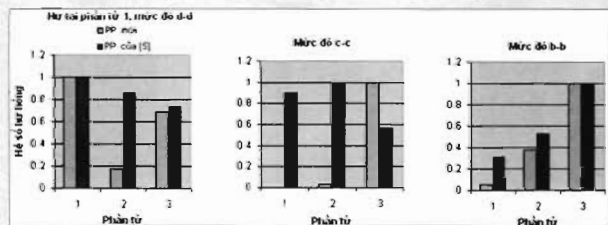
Kết quả thí nghiệm cho thấy: Theo cách phân chia phần tử thứ nhất, cả hai phương pháp xác định đúng vị trí hư chỉ khi mức độ hư hỏng cao d-d, 23,40%; ở hai mức thấp hơn (11,16% ở mức c-c và 4,9% ở mức b-b), cả hai phương pháp đều không xác định đúng vị trí hư hỏng (Hình 10). Theo cách phân chia phần tử thứ hai, cả hai phương pháp đều xác định đúng vị trí hư trong cả ba mức độ hư hỏng khác nhau (b-b, c-c, d-d), ngay cả khi mức độ hư hỏng không cao 4,90% (c-c

Hình 9: Hai cách chia phần tử



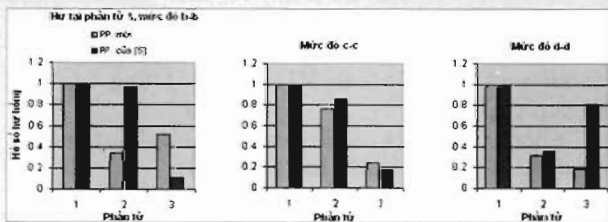
Ở Cách 1, vị trí hư Y4+ nằm sát nút biên. Ở cách 2, vị trí hư Y4+ nằm gần trung điểm của phần tử.

Hình 10: Kết quả xác định vị trí hư hỏng trong trường hợp



các phần tử được chia theo cách 1

Hình 11: Kết quả xác định vị trí hư hỏng trong trường hợp



các phần tử được chia theo cách 2

## 6. Kết luận

Kết quả thí nghiệm kiểm chứng cho thấy thuật toán VTHH có thể xác định đúng vị trí xuất hiện khuyết tật trên cầu ở những mức độ hư hỏng thấp hơn hoặc bằng mức độ hư hỏng có thể xác định được của [5]. Nghĩa là VTHH có độ nhạy tốt hơn phương pháp [5].

Việc sử dụng mạng Neuro-Fuzzy nhận dạng cầu ở tình trạng chưa bị hư đã tạo nên một số ưu điểm cho

thuật toán VTHH so với [5]. Một mặt, giải pháp này có tác dụng rút ngắn giai đoạn đo đạc lấy số liệu, làm giảm độ lớn của tập mẫu - bởi mạng có khả năng nội suy những thông số liên quan tới các TTDD ngẫu nhiên được sử dụng trong giai đoạn kiểm tra nhưng không trùng với các TTDD đã được dùng để xây dựng tập dữ liệu lưu trữ ứng với thời điểm cầu chưa hư. Mặt khác, giải pháp này còn có tác dụng làm gia tăng độ chính xác của thuật toán bởi vì thực tế ta không thể lặp lại chính xác một TTDD ở hai thời điểm khác nhau: thời điểm cầu chưa hư và ở thời điểm kiểm tra.

Đại lượng vật lý sử dụng cho thuật toán VTHH là biên độ dao động của cầu hoàn toàn có thể được đo động với độ chính xác phù hợp thông qua những thiết bị đo giao động quen thuộc.

Cũng như [5], khi cơ hệ dao động với tần số tiệm cận tới tần số riêng của cầu, độ chính xác của VTHH và [5] giảm dần. Vì trong thực tế việc xác định chính xác tần số riêng của một cơ hệ thực gặp một số khó khăn, do đó giải pháp cho việc gia tăng độ tin cậy của VTHH và [5] là ứng dụng kết hợp VTHH hoặc [5] với Phương pháp trung bình đã được trình bày trong [8]. Ngoài ra, khi sử dụng VTHH hoặc [5] trên một hệ thống cầu thực cũng cần phải quan tâm tới cách phân chia phần tử. Nên sử dụng một số giải pháp phân chia khác nhau, khảo sát quy luật hội tụ của lời giải để nhận nghiệm. □

## Tài liệu tham khảo:

- [1] Hung, S. L. & Jan, J. C. (1999), Machine learning in engineering analysis and design: An integrated fuzzy neural network learning model, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 14 (3), 207-19.
- [2] Hoon Sohn, Kincho H. Law (1999), Application of Ritz Vectors to Damage Detection for A Grid-Type Bridge Model, Proceedings of the 17th International Modal Analysis Conference, Kissimmee, Feb.
- [3] Hoon Sohn, Kincho H. Law (2001), Damage Diagnosis Using Experimental Ritz Vectors, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 127, No. 11, 1184-1193.
- [4] Hui Li, Jinping Ou, Xuefeng Zhao, Wensong Zhou, Hongwei Li & Zhi Zhou (2006), Structural Health Monitoring System for the Shandong Binzhou Yellow River Highway Bridge, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, pp. 306-317.
- [5] Hongpo Xu & Jagmohan Humar (2006), Damage Detection in a Gider Bridge by Artificial Neural networks Technique, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, pp. 450-464.
- [6] Massimo Panella, Antonio Stanislao Gallo (2005), An Input - Output Clustering Approach to the Synthesis of ANFIS Networks, IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 13, No. 1, February.
- [7] Nguyễn Sỹ Dũng, Ngô Kiều Nhi (2008), Tổng hợp hệ thống suy diễn Neuro-Fuzzy thích nghi (ANFIS) từ tập dữ liệu số, Tạp chí Tin học và Điều khiển học, tập 24, S. 2, 1-15.
- [8] Nguyễn Sỹ Dũng, Lê Minh Cảnh, và Ngô Kiều Nhi (2008), Nhận dạng khuyết tật của cầu mô hình bằng phương pháp mạng lượng và mạng neuro-fuzzy, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, số 2, trang 5-17.
- [9] Spencer, B. F. Jr (2003), Opportunities and challenges for smart sensing technology, in Proceedings of the First International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, Japan, 65-72.
- [10] Sayed, T. & Razavi, A. (2000), Comparison of neural and conventional approaches to mode choice analysis, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 14 (1), 23-30.
- [11] Sy Dzung Nguyen, and Kieu Nhi Ngo (2008), An Adaptive Input Data Space Parting Solution to The Synthesis of Neuro-Fuzzy Models, International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 6, no. 6, pp. 1-11, December.