

Một thuật toán mới về kiểm tra khuyết tật trên cầu dựa trên phân tích Wavelet tín hiệu dao động, thuật toán KTKT-WL

(*) GS.TS. NGÔ KIỀU NHI
(**) NCS. NGUYỄN SỸ DỪNG

Bài báo trình bày một thuật toán mới, mang tên KTKT-WL, được sử dụng để xác định sự tồn tại, định vị và xác định mức độ của khuyết tật trên cầu giao thông. Thuật toán được xây dựng dựa trên phân tích Wavelet tín hiệu dao động của cầu theo hướng tiệm cận tối ưu toàn cục hệ số scale và định lượng trung bình theo đường cực trị của hệ số wavelet tín hiệu dao động của cơ hệ. Tín hiệu dao động được sử dụng là tín hiệu dao động cưỡng bức của cầu theo tải giao thông, là chế độ tải trọng động do chính người và các phương tiện giao thông lưu thông qua cầu tạo ra. Phương pháp đã được kiểm chứng trên nhiều thí nghiệm dựa trên các tập số liệu do trên một khung kim loại dạng dầm dao động cưỡng bức, thực hiện tại Phòng thí nghiệm Cơ học ứng dụng (PTN CHUD) của trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh (ĐHBK TP. HCM), cũng như các tập số liệu về dao động theo tải giao thông của cầu Sài Gòn, nhận được thông qua một hệ thống đo được lắp đặt trực tiếp trên cầu Sài Gòn và truyền thường xuyên về PTN CHUD qua đường truyền Internet.

1. Đặt vấn đề

Nhận dạng khuyết tật, xác định định khả năng tải của cầu ở thời điểm hiện tại, xác định quy luật suy giảm độ cứng chống biến dạng của cầu cũng như dự báo khả năng tải của cầu trong tương lai là những nội dung quan trọng không thể thiếu trong công tác quản trị cầu. Nhờ nắm bắt được quy luật suy giảm độ cứng chống biến dạng của cầu mà cơ quan quản lý cầu có thể chủ động trong điều tiết lưu thông, chủ động trong việc kiểm định cầu không thường kỳ, chủ động trong việc ngưng khai thác cầu để nâng cấp, sửa chữa hoặc thay thế. Trong công tác này, làm sao có thể đánh giá thường xuyên với độ tin cậy cần thiết về tình trạng làm việc của cầu nhưng không làm ảnh hưởng tới việc lưu thông qua cầu diễn ra liên tục hằng ngày? Đây luôn là vấn đề lớn đặt ra cho các nhà nghiên cứu.

Phân tích Wavelet là một công cụ toán được sử dụng để giải quyết nhiều vấn đề liên quan tới xử lý tín hiệu trong miền thời gian. Khi một cơ hệ bị khuyết tật thì tín hiệu đáp ứng động lực của cơ hệ cũng sẽ thay đổi theo, trong đó mức độ và đặc điểm của lượng thay đổi này phụ thuộc vào vị trí và mức độ của khuyết tật. Chẳng hạn khuyết tật sẽ làm thay đổi dạng dao động (mode shape), làm thay đổi đặc tính chuyển vị, làm thay đổi đặc tính gia tốc, đặc tính của hệ số giảm chấn,... so với tín hiệu tương ứng khi cơ hệ còn nguyên

vẹn. Tất cả những sự thay đổi này đều có thể được sử dụng để xác định sự tồn tại của khuyết tật cũng như vị trí của chúng trên cơ hệ thông qua việc kiểm tra sự xuất hiện và định vị vị trí của các điểm kỳ dị (KD) trên các đường đặc tính hệ số Wavelet. Ưu điểm cơ bản của công cụ này là khả năng phân tích tín hiệu trong từng vùng hẹp, do đó thông qua phân tích Wavelet, ta có thể phát hiện sự xuất hiện những nét riêng biệt nhỏ của tín hiệu trong từng miền địa phương, đây là cơ sở để đánh giá khuyết tật trên cơ hệ [1-3][8][9]. Trong [1], Castroa và các cộng sự đã khảo sát ảnh hưởng của dạng dao động tới khả năng nhận dạng khuyết tật của tín hiệu phân tích Wavelet tín hiệu dao động của cơ hệ. Trong [3] J.-C. Hong và các cộng sự sử dụng hình nón phân bố và đường cực đại để tìm mối liên hệ giữa mức độ của khuyết tật và số mũ Lipschitz α . Kết quả khảo sát cho thấy tại các điểm KD biên độ hệ số Wavelet tăng đột biến làm thay đổi Lipschitz α , đồng thời mức độ hư hỏng và độ lớn Lipschitz tương ứng là các đại lượng đồng biến. Do đó, dựa vào độ lớn của α sẽ đánh giá được mức độ hư hỏng thực tế của cơ hệ. Trong [8] các tác giả sử dụng phân tích Wavelet tín hiệu gia tốc để xác định sự tồn tại khuyết tật, định vị và xác định mức độ khuyết tật. Trong đó mức độ khuyết tật được

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

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

xác định dựa vào mối liên hệ đồng biến giữa mức độ khuyết tật và giá trị chặn trên của độ lớn hệ số Wavelet của tín hiệu gia tốc.

Thông qua việc phân tích Wavelet, các tập dữ liệu nhận được trên thí nghiệm mô hình khi cho cơ hệ dao động cưỡng bức với những chế độ kích thích khác nhau cũng như phân tích Wavelet các tập số liệu về dao động của cầu Sài Gòn theo tải giao thông, sử dụng các đường cực đại và thuật toán đường biên của Mallat [5] để xác định Lipschitz α và các giá trị chặn trên tương ứng chúng tôi nhận thấy rằng quan hệ giữa mức độ hư hỏng trên cơ hệ với số mũ Lipschitz cũng như quan hệ giữa mức độ hư hỏng trên cơ hệ với các giá trị chặn trên của độ lớn Wavelet không còn luôn đồng biến nữa khi tần số kích thích dao động thay đổi.

Nhằm mục đích xây dựng một công cụ toán có thể ứng dụng để kiểm tra thường xuyên tình trạng làm việc của cầu dựa trên tải giao thông, trong bài báo này chúng tôi trình bày một phương pháp mới về xác định sự tồn tại khuyết tật, định vị khuyết tật và xác định mức độ của chúng trên hệ thống cầu thực dựa trên ứng dụng phân tích Wavelet tín hiệu dao động của cầu theo hướng tiệm cận tối ưu toàn cục scale để xây dựng một đại lượng phản ánh đặc trưng ứng xử động lực học của cơ hệ, tương đối độc lập với sự thay đổi của chế độ kích thích dao động cơ hệ - hệ số Wavelet trung bình $W(t)$. Đặc điểm quan trọng này của $W(t)$ cho phép phương pháp được đề xuất có thể sử dụng tín hiệu dao động cưỡng bức của cầu theo tải giao thông trong quá trình khảo sát.

2. Cơ sở lý thuyết và cơ sở dữ liệu

2.1. Cơ sở lý thuyết

Mục này xin nêu tóm tắt một số khái niệm được Mallat và các cộng sự trình bày trong [4] và [5]. Các nội dung này sẽ được sử dụng trong các mục tiếp theo.

Biến đổi Wavelet: Gọi $f(t)$ là hàm khả tích theo biến t . Biến đổi Wavelet của $f(t)$ được định nghĩa:

(1)

$$Wf(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad a,b \in R, \quad a \neq 0$$

Trong đó, dấu (*) thể hiện liên hợp phức của Wavelet cơ sở $\Psi(t)$ ($\Psi(t)$ còn được gọi là Mother Wavelet); W được gọi là hệ số Wavelet.

Hình nón phân bố: Giả sử Ψ là hàm Wavelet xác định trong $[-C, C]$. Hình nón phân bố tại v là tập hợp tất cả các điểm (a, b) trong không gian scale-vị trí thỏa mãn bất đẳng thức sau: $lb - vl \leq C.a$

Hình nón phân bố được sử dụng trong định hướng quá trình tìm kiếm hệ số scale phù hợp của phép biến đổi wavelet dựa vào đặc điểm: các hệ số Wavelet đạt giá trị cao nằm ở trong hình nón này.

Định nghĩa cực trị: Điểm (a_0, t_0) được gọi là điểm cực trị khi t biến thiên qua t_0 nếu tại $t = t_0$ có

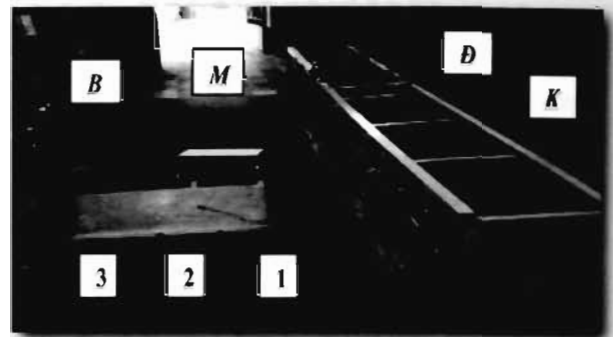
$$\frac{\partial Wf(a_0, t)}{\partial t} = 0$$

Điểm (a_0, t_0) được gọi là điểm cực

đại nếu khi t thuộc về lân cận phải hoặc lân cận trái của t_0 thì $|Wf(a_0, t)| < |Wf(a_0, t_0)|$. Đường cực đại là

đường nằm trong không gian tỉ lệ (a, t) nối các điểm cực đại (a_0, t_0) trong lân cận của t_0 .

2.2. Cơ sở dữ liệu



Hình 1: Thiết bị và mô hình thí nghiệm

- 1: Cảm biến chuyển vị
- 2: Bộ đo chuyển vị LAM-BRIDGE
- 3: Máy tính
- B: Bộ biến tần
- Đ: Động cơ điện xoay chiều ba pha
- M: Khối lượng lệch tâm
- K: Khung sắt thí nghiệm

Các kiểm chứng trong bài báo này được xây dựng dựa trên các tập số liệu đo dao động cưỡng bức của một khung kim loại được đo tại PTN CHUD ĐHBK - ĐHQG TP. HCM (Hình 1) và số liệu về dao động theo tải giao thông của cầu Sài Gòn (Hình 2).

Động cơ điện xoay chiều ba pha Đ mang khối lượng lệch tâm M có thể được gá lắp tại nhiều vị trí khác nhau trên khung sắt K như trên Hình 1. Sử dụng bộ biến tần B để thay đổi tốc độ quay n của động cơ. Khối lượng M, độ lệch tâm d , tốc độ quay n , toạ độ lắp đặt động cơ z là những đại lượng có thể điều chỉnh. Do đó, động cơ quay sẽ tạo nên dao động cưỡng bức trên khung với những trạng thái dao động (TTDD) khác nhau. Sử dụng bộ đo chuyển vị LAM_BRIDGE do PTN CHUD ĐHBK - ĐHQG TP. HCM chế tạo để đo độ võng của dầm tại toạ độ z ở thời điểm t ứng với từng TTDD.

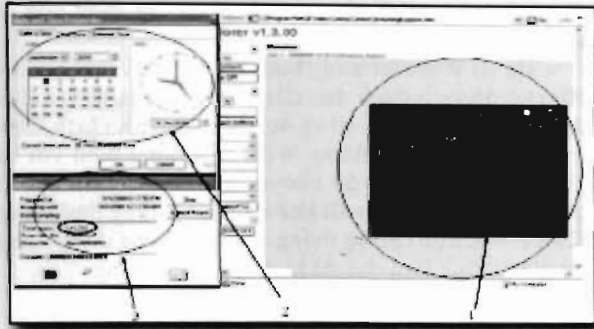
Song song với tập dữ liệu đo dao động trên mô hình thí nghiệm nêu trên, trong nghiên cứu này chúng tôi còn sử dụng số liệu đo dao động của cầu Sài Gòn khi cầu dao động theo tải giao thông, nhận được thông qua một hệ thống đo được lắp đặt trực tiếp trên cầu Sài Gòn và truyền thường xuyên về PTN CHUD của Trường ĐHBK TP. HCM qua đường truyền Internet. Hình 2 trình bày một phần giao diện của chương trình thu nhận dữ liệu tại máy tính đặt tại PTN CHUD. Sơ lược về hệ thống:

Camera: thu nhận Hình ảnh tình trạng giao thông trên cầu từ thực tế.

Time Properties: chi tiết về thời gian đang khảo sát.

DaqView - Trigger: diễn biến của thu nhận tín hiệu biến dạng của dầm cầu tại nhiều vị trí đo khác nhau theo thời gian, bao gồm thời điểm bắt đầu (Triggered at) và thời điểm kết thúc (Acquiring unit), tần số lấy mẫu (Scan rate, Hz), và tổng số lần thu nhận tính đến thời điểm hiện tại (Total scans) - số này có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, đó là số thứ tự hàng của ma trận số

liệu được thu nhận ngay tại thời điểm ứng với hình ảnh giao thông trên cầu, từ đó ta sẽ biết rõ vị trí chính xác của số liệu trong ma trận dữ liệu.



Hình 2: Khảo sát gián tiếp

1: Camera; 2: Time Properties; 3: DaqView-Trigger

3. Phương pháp mới về kiểm tra khuyết tật

3.1. Một số khái niệm

Xin được định nghĩa một số đại lượng sẽ được sử dụng trong thuật toán KTKT-WL trong các mục tiếp theo.

- **Hệ số Wavelet trung bình địa phương:** Chia cơ hệ được khảo sát thành các phần tử theo cách chia của phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Giá trị trung bình hệ số Wavelet ở lần khảo sát thứ t , $t = 1 \dots T$, tại các điểm cắt mẫu của một phần tử khi xử dụng cùng một giá trị hệ số scale $a = a_j$ được gọi là hệ số Wavelet trung bình địa phương của phần tử, được kí hiệu là $W_a^j(k)$. Hệ số Wavelet trung bình địa phương của phần tử thứ k được tính:

$$(2) \quad W_a^j(k) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^Q |W_a^j(k)|$$

trong đó $W_a^j(k)$ là hệ số Wavelet trên phần tử thứ k ở lần khảo sát thứ t , $t = 1 \dots T$, tại điểm cắt mẫu thứ j , $j = 1 \dots Q$, khi $a = a_j$; Q là số điểm cắt mẫu.

- **Vector scale a:** Xét phép chuyển đổi Wavelet $Wf(a,b)$ của tín hiệu gốc $f(t)$ tại một điểm khảo sát. Vector scale a , kí hiệu N_w , trong phép chuyển đổi này trong lân cận của điểm cực đại tại $t = t_0$ là vector có các phần tử a được trích ra từ tập các giá trị scale tạo ra đường cực đại trong lân cận của điểm này.

- **Hệ số Wavelet trung bình:** Gọi N_w là vector scale a được sử dụng trong biến đổi Wavelet. Hệ số Wavelet trung bình của phần tử thứ k sau T lần khảo sát, kí hiệu là $W(k)$, $k = 1 \dots N$, được tính:

$$(3) \quad W(k) = \frac{1}{TN_w Q} \sum_{k=1}^T \sum_{j=1}^{N_w} \sum_{j=1}^Q |W_a^j(k)|$$

Nếu kết hợp với (2), $W(k)$ có thể được viết:

$$(4) \quad W(k) = \frac{1}{TN_w} \sum_{k=1}^T \sum_{j=1}^{N_w} W_a^j(k)$$

3.2. Thuật toán KTKT-WL

Thuật toán KTKT-WL được sử dụng để kiểm tra sự hiện diện khuyết tật và định vị khuyết tật trên cầu. Tín hiệu được sử dụng trong phương pháp này là tín hiệu về dao động của cầu theo tải giao thông. Có nhiều tín

hiệu có thể được sử dụng trong khảo sát xác định sự hiện diện và định vị khuyết tật, chẳng hạn tần số dao động, mode shape, hệ số giảm chấn, biến dạng hoặc chuyển vị của cơ hệ... Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng tín hiệu biến dạng và tín hiệu chuyển vị để khảo sát.

Chia nhịp cầu thành N đoạn, mỗi đoạn được gọi là một phần tử;

Ở hai trạng thái, trạng thái cơ hệ được xem là chưa bị hư và trạng thái của cơ hệ ở thời điểm kiểm tra, thực hiện các bước sau:

- **Bước 1 Biến đổi Wavelet $Wf(a,b)$ tín hiệu dao động theo tải giao thông $f(t)$:**

+ Đo tín hiệu dao động $f(t)$ của cầu theo tải giao thông;

+ Chọn khoảng khảo sát của scale a và biến đổi Wavelet $Wf(a,b)$ của tín hiệu $f(t)$ theo (1) trong không gian (a, b) cho tất cả các phần tử;

- **Bước 2 Xác định đường cực đại cho từng phần tử:**

Dựa vào tín hiệu Wavelet $Wf(a,b)$ để xác định điểm cực đại và từ đó xác định một đường cực đại cho mỗi phần tử;

- **Bước 3 Xác định vector các hệ số scale a tối ưu cho tất cả các phần tử trên cơ hệ, N_w :**

Gọi A_k là vector scale a trên đường cực đại của phần tử thứ k , $k = 1 \dots N$. Các A_k có cùng chiều dài. Vector được tính:

$$(5) \quad N_w = Y_{k=1}^N \cdot A^k$$

- Bước 4 Tính hệ số Wavelet trung bình $W(k)$:

Dựa vào N_w , tính hệ số Wavelet trung bình $W(k)$, $k = 1 \dots N$ cho từng phần tử theo (3);

- **Bước 5 Nhận dạng khuyết tật:**

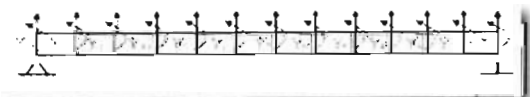
Vẽ đặc tính $W(k)$ cho cơ hệ ở hai trạng thái, trạng thái cầu được xem là không hư và trạng thái của cầu ở thời điểm kiểm tra. Sự khác biệt giữa hai đường đặc tính là dấu hiệu nhận biết sự tồn tại khuyết tật trên cầu. Khi đã xác định được sự tồn tại của khuyết tật trên cơ hệ, phần tử k thỏa mãn

$$(6) \quad W(k) = \max_{j=1 \dots N} (W(j))$$

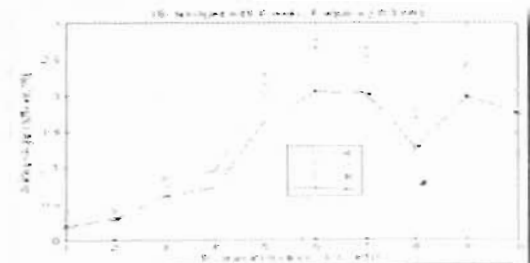
là phần tử yếu nhất trên cơ hệ. Mức độ hư hỏng của cầu càng cao thì $W(k)$ càng lớn.

4. Thí nghiệm kiểm chứng

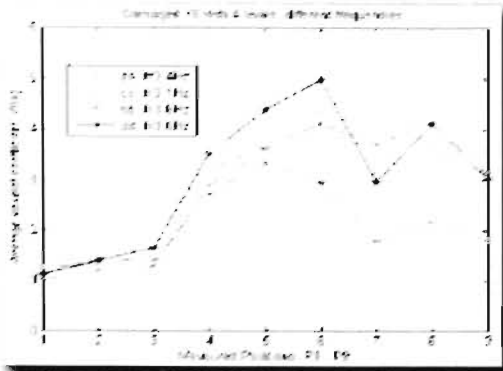
4.1. Sử dụng khung mô hình



Hình 3: Mô Hình toán của khung thí nghiệm



(a)



(b)



(c)

Hình 4: Xác định sự hiện diện của khuyết tật trên cơ hệ cũng như định vị vị trí của chúng

(a) Hư tại Y_6 với 4 cấp độ khác nhau aa, bb, cc, dd; khung dao động cùng tần số $f = 3,6$ Hz trong cả bốn trường hợp. (b) Tương tự như trường hợp trên nhưng tần số dao động ứng với từng mức khuyết tật aa, bb, cc, dd theo thứ tự là 3,4 Hz, 3,6 Hz, 3,1 Hz và 3,0 Hz. (c) Khung hư đồng thời tại hai điểm Y_4 và Y_6 cùng cấp độ aa, bb, cc, và dd; ứng với từng cấp độ hư nêu trên là các tần số dao động tương ứng 3,6 Hz, 2,9 Hz, 3,2 Hz và 4,0 Hz.

Khung kim loại trên Hình 1 được chia thành 12 phần tử có độ dài bằng nhau bởi 13 điểm chia như trên Hình 3. Tạo ra các vết cắt có tỉ lệ diện tích phần cắt so với diện tích tiết diện ngang ban đầu, theo thứ tự, là: mức aa = 1,56%, bb = 4,9%, cc = 11,16 và dd = 23,4%. Cho khung dao động cưỡng bức với những tần số khác nhau. Đo chuyển vị tại các điểm chia Y_i , $i = 2...12$. Sử dụng thuật toán KTKT-WL để kiểm tra sự xuất hiện khuyết tật trên cơ hệ, định vị vị trí của chúng cũng như khảo sát mối liên hệ giữa hệ số Wavelet trung bình với mức độ khuyết tật trên cơ hệ. Các kết quả khảo sát được thể hiện trên các Hình 4 và 5.

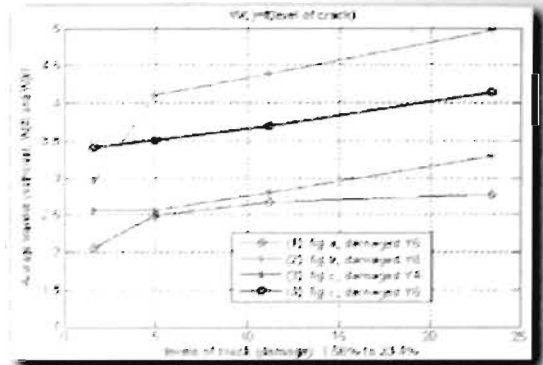
Hình 4 cho thấy:

- Thuật toán xác định chính xác sự hiện diện của khuyết tật. Chẳng hạn, nếu xem mức độ hư hỏng aa = 1,56% là khá bé, có thể xem đáp ứng động lực học của cơ hệ ở mức khuyết tật này tương tự như đáp ứng động lực học của cơ hệ khi còn nguyên vẹn. Khi đó, so sánh giá trị hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ tại các điểm đo với giá trị tương ứng $W(k)$ ở mức khuyết tật aa ta sẽ thấy có sự khác biệt rõ rệt. Đây chính là dấu hiệu nhận biết sự tồn tại khuyết tật trên cơ hệ.

- Trong trường hợp hư hỏng tại một điểm Y_6 , hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ tại đây gia tăng rõ rệt và lớn hơn $W(k)$ tại các điểm khác. Đây là dấu hiệu giúp xác

định chính xác vị trí của khuyết tật trên cơ hệ. Trong trường hợp hư hỏng kép, chẳng hạn hư tại Y_4 và Y_6 như trên Hình 4c, tại Y_6 có biên độ dao động lớn hơn nên dấu hiệu nhận biết khuyết tật tại đây rõ ràng hơn so với tại Y_4 .

- Hệ số Wavelet trung bình không nhạy với sự thay đổi chế độ kích thích dao động, đặc biệt là tần số dao động. Trên các Hình 4b và 4c, mặc dù tần số kích thích dao động thay đổi nhưng $W(k)$ vẫn đồng biến với sự biến thiên của mức độ khuyết tật. Đặc điểm này rất quan trọng, liên quan tới khả năng ứng dụng thuật toán KTKT-WL trên các hệ thống cầu thực trong đó sử dụng tải giao thông làm chế độ kích thích dao động



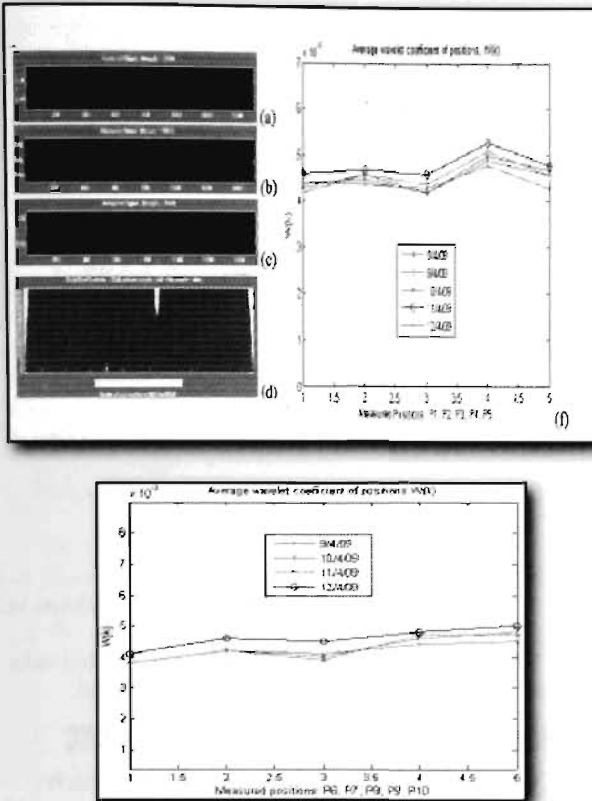
Hình 5: Độ biến thiên của hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ theo mức độ của khuyết tật: Phương pháp xác định mức độ khuyết tật dựa vào $W(k)$

Dựa vào Hình 4a xác định được hệ số Wavelet trung bình tại điểm khuyết tật Y_6 ứng với bốn cấp độ khuyết tật aa, bb, cc, dd, từ đó xác định được đường đặc tính (1) trên Hình 5. Đường (1) thể hiện mối liên hệ giữa mức độ khuyết tật và độ lớn của $W(6)$. Hoàn toàn tương tự, dựa vào các Hình 4b và 4c chúng tôi xác lập được các đường (2) (3) và (4) trên Hình 5, trong đó đường (2) thể hiện độ biến thiên của $W(6)$ theo mức độ khuyết tật tại Y_6 khi khung bị khuyết tật tại một vị trí Y_6 như trên Hình 4b; các đường (3) và (4) theo thứ tự thể hiện độ biến thiên của $W(4)$ và $W(6)$ theo mức độ khuyết tật tại Y_4 và Y_6 khi khung bị khuyết tật đồng thời tại hai điểm Y_4 và Y_6 như trên Hình 4c.

Kết quả khảo sát trên Hình 5 cho thấy mối liên hệ giữa độ biến thiên của mức độ khuyết tật và độ biến thiên của hệ số Wavelet trung bình là quan hệ đồng biến. Do đó sử dụng hệ số wavelet trung bình sẽ xác định được mức độ khuyết tật trên cơ hệ. Đồng thời chính quan hệ đồng biến nêu trên cũng như tính độc lập của hệ số Wavelet trung bình vào chế độ kích thích dao động cho phép sử dụng hệ số Wavelet trung bình trong bài toán dự báo mức độ khuyết tật theo chuỗi thời gian.

4.2. Sử dụng số liệu dao động của cầu Sài Gòn

Trong phần này chúng tôi sử dụng tín hiệu biến dạng tại 10 vị trí đo khác nhau của một dầm cầu trên cầu Sài Gòn, từ điểm đo P1 đến P10, ở nhiều thời điểm khác nhau làm dữ liệu khảo sát. Sử dụng thuật toán KTKT-WL để xác định hệ số Wavelet trung bình trong từng trường hợp. Các kết quả được trình bày trên Hình 6.



Hình 6: Khảo sát đáp ứng động lực của cầu Sài Gòn dựa vào số liệu trong các ngày 9/4 đến 12/4/2009
 Các hình (a), (b), và (c) là tín hiệu biến dạng của dầm cầu ở ba lần đo tại cùng một điểm đo P1. Hình (d) là tín hiệu Wavelet $Wf(a, b)$ của (c). Hình (f) là hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ tại năm điểm khảo sát P1, P2, P3, P4, và P5 ở cùng những thời điểm trong các ngày 9/4 đến 12/4/2009. Hình (g) là hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ tại năm điểm khảo sát P6, P7, P8, P9, và P10 trong các ngày 9 đến 12/4/2009.

Các Hình 6f, 6g cho thấy các đường đặc tính của hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ dù ở những thời điểm đo khác nhau (do đó các chế độ tải trọng động cũng như chế độ kích thích dao động khác nhau) nhưng lại có dạng gần giống nhau, và khoảng cách giữa chúng là rất bé (khoảng cách trung bình giữa hai đường ngoài cùng khoảng 3.10⁻⁴), mặc dù tín hiệu biến dạng của cầu tại các thời điểm đo này hoàn toàn khác nhau - được thể hiện trên các Hình 6a, 6b, và 6c. Điều đó cho thấy các đường đặc tính của hệ số Wavelet trung bình trong các Hình nêu trên phản ánh đúng tình trạng thực tế của cầu Sài Gòn: cầu đang làm việc bình thường. Đồng thời các đặc điểm này còn cho thấy hệ số Wavelet trung bình $W(k)$ ít chịu ảnh hưởng của chế độ kích thích dao động của cơ hệ. Đặc điểm này là quan trọng, liên quan tới việc ứng dụng tải giao thông cho thuật toán KTKT-WL

5. Kết luận

Phương pháp đề xuất được xây dựng dựa trên phân tích Wavelet tín hiệu dao động của cầu theo hướng tiệm cận tối ưu toàn cục scale a và định lượng trung bình theo đường cực trị của hệ số Wavelet tín hiệu dao động của cầu. Dựa vào hệ số Wavelet trung bình $W(t)$ chúng tôi đã xây dựng một thuật toán mới mang tên

thuật toán KTKT-WL được sử dụng để xác định sự tồn tại của khuyết tật trên cầu, định vị vị trí của chúng cũng như xác định mức độ khuyết tật của cơ hệ. Các kết quả kiểm chứng cho thấy rằng thuật toán được đề xuất phù hợp với tín hiệu dao động cường bức của cầu theo tải giao thông, là chế độ tải trọng động do chính người và các phương tiện giao thông lưu thông qua cầu tạo ra. Phương pháp đề xuất có khả năng phản ánh khả năng tải của cầu với độ tin cậy cần thiết, đồng thời phương pháp này không nhạy với sự thay đổi thường xuyên và không có quy luật của chế độ kích thích dao động. Trong trường hợp cầu có mức độ suy giảm độ cứng chống biến dạng cục bộ bé thì hệ số Wavelet $Wf(a, b)$ có biên độ rất bé và ít thay đổi theo a và b. Do đó giải pháp dựa vào đường cực đại để xác lập tín hiệu hệ số Wavelet trung bình làm gia tăng độ nhạy của tín hiệu $W(k)$ so với $Wf(a, b)$. Ngoài ra, tín hiệu hệ số Wavelet trung bình $W(t)$ hoàn toàn có thể được sử dụng làm tín hiệu dự báo trong các hệ thống dự báo khả năng tải của cầu theo chuỗi thời gian. Đây là các đặc điểm quan trọng mở ra khả năng ứng dụng thuật toán KTKT-WL để xây dựng các hệ thống kiểm tra thường xuyên khả năng tải của cầu nói riêng và của các cơ hệ lớn, phức tạp nói chung. □

Tài liệu tham khảo:

[1] Castroa E., M. T. G., A. Gallegob (2006). Damage detection in rods by means of the wavelet analysis of vibrations: Influence of the mode order. Journal of Sound and Vibration 296, pp. 1028-1038.
 [2] Douka E., Loutridis S., Trochidis A. (2002). Crack Identification in Plates Using Wavelet Analysis. Journal Of Sound And Vibration, Vol. 249(1), pp. 23-40.
 [3] Hong J. -C., Kim Y. Y., Lee H. C., Lee Y. W. (2002). Damage detection using the Lipschitz exponent estimated by Wavelet transform: application to vibration modes of beam. International Journal of Solids and Structures, Vol. 39, pp. 1803-1816.
 [4] Mallat S. Hwang W. (1992). Singularity Detection and Processing with Wavelets. IEEE Transactions of Information Theory, Vol. 38, pp. 617-643.
 [5] Mallat S. (1998). A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press.
 [6] Newland D. E. (1994). Wavelet Analysis of Vibration, Part I: Theory, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 116/409.
 [7] Newland D. E. (1994). Wavelet Analysis of Vibration, Part II: Wavelet Maps, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 116/415.
 [8] Viet Khoa Nguyen, O. A. Olatunbosun, Tien Khiem Nguyen (2008). Wavelet Based Method For Remove Monitoring Of Structural Health By Analysing The Nonlinearity In Dynamic Response Of Damaged Structures Caused By The Crack-Breathing Phenomeno. Technische Mechanik, Band 28, Heft 3-4, pp. 289-298.
 [9] Zhu X. Q., Law S. S. (2006). Wavelet - based crack identification of bridge beam from operational deflectional time history, International Journal of Solid and Structures 43, pp.2299-2317.