

Chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu khung thép sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng kết hợp với thuật toán di truyền

Bạch Văn Sỹ^{1,2,3}, Lê Thanh Cao^{1,2,3}, Hồ Đức Duy^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, 268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Khoa Xây dựng, Trường Đại học Nha Trang, 2 đường Nguyễn Đình Chiểu, TP. Nha Trang, Khánh Hòa, Việt Nam

Liên hệ

Hồ Đức Duy, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, 268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: hoducduy@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 14-8-2021
- Ngày chấp nhận: 21-12-2021
- Ngày đăng: 31-12-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v4i4.904



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, lĩnh vực theo dõi và chẩn đoán kết cấu (Structural Health Monitoring: SHM) đã và đang nhận được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Trong đó, các phương pháp chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu sử dụng các đặc trưng dao động đã chứng tỏ được tính hiệu quả cao trong các lĩnh vực kỹ thuật như xây dựng, cơ khí, hàng không, ... Bài báo này trình bày phương pháp chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu khung thép phẳng theo quy trình hai bước. Bước một, vị trí hư hỏng của phần tử được xác định thông qua chỉ số Modal Strain Energy Based Index (MSEBI). Chỉ số này được tính toán dựa trên sự chênh lệch giá trị năng lượng biến dạng của phần tử trước và sau khi xuất hiện hư hỏng. Bước hai, mức độ hư hỏng của phần tử được xác định thông qua thuật toán di truyền (GA: Genetic Algorithm). Hàm mục tiêu được xây dựng dựa vào sự thay đổi của giá trị năng lượng biến dạng. Một mô hình khung thép phẳng được xây dựng theo phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả phân tích dao động tự do của khung là dữ liệu đầu vào của quy trình chẩn đoán kiến nghị. Để cải thiện độ chính xác của bước chẩn đoán vị trí hư hỏng trên kết cấu, chỉ số MSEBI được xác định cho bốn dạng dao động uốn đầu tiên của kết cấu khung. Phương pháp kiến nghị cho kết quả chẩn đoán vị trí và mức độ hư hỏng có độ chính xác cao trong nhiều trường hợp hư hỏng khác nhau.

Từ khóa: chẩn đoán hư hỏng, dao động, năng lượng biến dạng, thuật toán di truyền, kết cấu khung

GIỚI THIỆU

Trong quá trình khai thác và sử dụng công trình, các kết cấu chịu lực nói chung và kết cấu khung nói riêng thường phát sinh những hư hỏng không mong muốn. Sự hư hỏng này là do tác động của tải trọng và môi trường xung quanh. Do đó, theo dõi sự làm việc của kết cấu trong suốt quá trình sử dụng là một việc hết sức quan trọng nhằm phát hiện kịp thời những hư hỏng mà có thể làm phá hoại công trình cũng như đe dọa tính mạng của con người. Hiện tại, lĩnh vực theo dõi và chẩn đoán kết cấu (SHM: Structural Health Monitoring), đặc biệt là kỹ thuật nhận dạng không phá hủy, đã và đang nhận được sự quan tâm của rất nhiều nhà nghiên cứu. Nhiều phương pháp nhận dạng hư hỏng không phá hủy được phát triển như phương pháp siêu âm, phương pháp tia X, phương pháp ảnh nhiệt, ... Đặc điểm chung của các phương pháp chẩn đoán này là vị trí hư hỏng đã được xác định, khu vực cần chẩn đoán có thể lắp đặt các thiết bị thuận tiện. Trong khi đó, phương pháp chẩn đoán hư hỏng sử dụng các đặc trưng dao động được xem là phương pháp nhận dạng hư hỏng tổng thể, giúp xác định và khoanh vùng nhanh chóng những vị trí bất thường trên kết cấu¹. Cho đến nay, các đặc trưng dao động như tần số dao động, dạng dao động đã được sử dụng

phổ biến trong các phương pháp chẩn đoán hư hỏng của kết cấu. Trong đó, phương pháp năng lượng biến dạng được xem là phương pháp có tính hiệu quả cao khi vừa chẩn đoán tổng thể và vừa chẩn đoán cục bộ những hư hỏng xuất hiện trong kết cấu²⁻⁶.

Thuật toán di truyền (Genetic Algorithm) là một kỹ thuật tìm kiếm ngẫu nhiên theo cơ chế chọn lọc và tiến hóa tự nhiên. Dựa trên quan điểm rằng quá trình tiến hóa và thích nghi là quá trình hoàn hảo và mang tính tối ưu. Trong lĩnh vực SHM, phương pháp tối ưu nói chung và thuật toán di truyền nói riêng đã được áp dụng nhằm giải quyết bài toán tối ưu hóa trong chẩn đoán hư hỏng kết cấu. He và cộng sự (2015) đã sử dụng tiêu chuẩn so sánh dạng dao động (Modal Assurance Criterion) kết hợp với thuật toán di truyền để tối ưu vị trí đặt các cảm biến cho việc theo dõi hư hỏng của kết cấu bền cứng⁷. Cha và Buyukozturk (2015) đã chẩn đoán thành công mức độ hư hỏng của dầm và cột của kết cấu khung không gian bằng cách sử dụng thuật toán di truyền với hàm đa mục tiêu⁴. Vo-Duy và cộng sự (2016) đã đề xuất quy trình chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu tấm composite sử dụng chỉ số MSECR (Modal Strain Energy Change Ratio) kết hợp thuật toán tiến hóa khác biệt (Differential Evolution)⁸. Lê và Hồ (2017) đã chẩn đoán thành công mức độ hư hỏng của kết cấu khung không gian sử dụng thuật

Trích dẫn bài báo này: Sỹ B V, Cao L T, Duy H Đ. Chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu khung thép sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng kết hợp với thuật toán di truyền. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 4(4):1254-1263.

toán di truyền với hàm đơn mục tiêu⁹. Nick và cộng sự (2021) đã giới thiệu một kỹ thuật chẩn đoán hư hỏng bao gồm hai bước sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng và mạng nơ-ron nhân tạo cho kết cấu dầm cầu bằng thép¹⁰.

Mục tiêu của nghiên cứu này là đề xuất phương pháp chẩn đoán hư hỏng của kết cấu khung thép phẳng theo hai bước: (1) chẩn đoán vị trí hư hỏng dựa vào sự thay đổi giá trị năng lượng biến dạng; (2) xác định mức độ hư hỏng của kết cấu bằng thuật toán di truyền. Trước tiên, chương trình phân tích dao động cho kết cấu khung theo phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) được xây dựng. Từ đó, tần số dao động và dạng dao động của khung được phân tích. Kết quả phân tích dao động được kiểm chứng với phần mềm SAP2000 nhằm đánh giá độ chính xác của chương trình phân tích. Sau đó, phương pháp chẩn đoán kiến nghị được áp dụng để chẩn đoán vị trí và mức độ hư hỏng trong khung với nhiều trường hợp hư hỏng khác nhau. Kết quả chẩn đoán đạt độ chính xác cao và tính khả thi của phương pháp được minh chứng.

PHƯƠNG PHÁP CHẨN ĐOÁN

Phương pháp năng lượng biến dạng

Dựa vào kết quả phân tích dao động tự do không cản, các dạng dao động của kết cấu khung được xác định. Từ đó, giá trị năng lượng biến dạng được tính toán từ các dạng dao động tương ứng. Giá trị năng lượng biến dạng của phần tử thứ j tương ứng với dạng dao động thứ i được xác định như sau:

$$MSE_{ij} = \phi_i^T K_j \phi_i \quad (1)$$

trong đó MSE_{ij} , ϕ_i , K_j lần lượt là giá trị năng lượng biến dạng, vectơ chuyển vị nút, ma trận độ cứng trong hệ tọa độ tổng thể của phần tử thứ j tương ứng với dạng dao động thứ i . Giá trị năng lượng biến dạng của phần tử không hư hỏng và phần tử hư hỏng được xác định theo biểu thức sau:

$$MSE_{ij}^h = \phi_i^{hT} K_j \phi_i \quad (2)$$

$$MSE_{ij}^d = \phi_i^{dT} K_j \phi_i \quad (3)$$

trong đó MSE_{ij}^d , MSE_{ij}^h lần lượt là giá trị năng lượng biến dạng của phần tử thứ j tương ứng với dạng dao động thứ i ở trạng thái xuất hiện hư hỏng và trạng thái không hư hỏng.

Phương pháp chẩn đoán vị trí hư hỏng

Hiện tại, một vài chỉ số chẩn đoán sự xuất hiện và vị trí của hư hỏng trong kết cấu sử dụng năng lượng biến dạng đã được kiến nghị: chỉ số MSECR (Modal Strain Energy Change Ratio), chỉ số MSEBI (Modal Strain Energy Based Index), chỉ số MSEEI (Modal Strain Energy Equivalence Index). Trong đó, chỉ số MSEBI có tính hiệu quả cao hơn trong việc chẩn đoán vị trí hư hỏng¹¹. Chỉ số MSEBI được tính toán theo trình tự sau:

Bước 1: Xác định tổng năng lượng biến dạng của các phần tử thứ j tương ứng với dạng dao động thứ i .

$$MSE_i = \sum_{j=1}^n MSE_{ij} \quad (4)$$

Bước 2: Chuẩn hóa giá trị năng lượng biến dạng của phần tử so với tổng năng lượng biến dạng tương ứng với dạng dao động thứ i đang xét.

$$MSE_j^* = \frac{MSE_{ij}}{MSE_i} \quad (5)$$

Bước 3: Xác định giá trị trung bình của giá trị năng lượng chuẩn hóa tương ứng với m dạng dao động được xem xét.

$$\overline{MSE_j^*} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m MSE_j^* \quad (6)$$

Bước 4: Xác định chỉ số đánh giá MSEBI.

$$MSEBI_j = \max \left\{ 0; \frac{\overline{MSE_j^{*d}} - \overline{MSE_j^{*h}}}{\overline{MSE_j^{*h}}} \right\} \quad (7)$$

trong đó $\overline{MSE_j^{*d}}$, $\overline{MSE_j^{*h}}$ lần lượt là giá trị trung bình năng lượng biến dạng đã được chuẩn hóa ở trạng thái có hư hỏng và trạng thái không hư hỏng. Nếu giá trị MSEBI của phần tử bằng "0" thì phần tử đó không có hư hỏng, ngược lại nếu giá trị MSEBI của phần tử nào đó lớn hơn "0" thì phần tử đó có hư hỏng.

Thuật toán di truyền

Khi kết cấu xuất hiện hư hỏng, điều này đồng nghĩa với việc độ cứng của phần tử kết cấu bị suy giảm. Nếu gọi α_j là mức suy giảm độ cứng của phần tử thứ j , lúc đó độ cứng của phần tử thứ j sau khi xuất hiện hư hỏng được diễn tả bởi biểu thức:

$$EI_j^s = (1 - \alpha_j) EI_j^d \quad (8)$$

Để đánh giá sự xuất hiện hư hỏng xảy ra tại các phần tử trên kết cấu, mức suy giảm độ cứng của kết cấu có thể được biểu thị bởi vectơ các giá trị suy giảm độ cứng như sau:

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\} \quad (9)$$

Giá trị α là giá trị được dùng để chẩn đoán mức độ hư hỏng của phần tử thông qua thuật toán di truyền trên cơ sở hàm mục tiêu được thiết lập như sau:

$$OF(\alpha^s) = \min_{\alpha^s} \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left| \frac{(\phi_i^{dT} K_j \phi_i^d) - (\phi_i^{sT} K_j \phi_i^s)_{\alpha^s}}{\phi_i^{dT} K_j \phi_i^d} \right| \right] \quad (10)$$

trong đó: giá trị α là nghiệm cần tìm; n, m lần lượt là số lượng phần tử cần chẩn đoán và số lượng dạng dao động được xem xét; $(\phi_i^{dT} K_j \phi_i^d), (\phi_i^{sT} K_j \phi_i^s)_{\alpha^s}$ lần lượt là giá trị năng lượng biến dạng của phần tử thứ j ứng với dạng dao động thứ i ở trạng thái hư hỏng và trạng thái có mức hư hỏng giả định là α^s .

Để tìm giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu (10), thuật toán di truyền được áp dụng. Thuật toán được bắt đầu bằng việc định nghĩa các giá trị của một chuỗi các biến tính toán tối ưu, trải qua bốn bước thực hiện cơ bản là lai ghép, đột biến, sinh sản và chọn lọc tự nhiên để xác định ra được cá thể tốt nhất đáp ứng điều kiện hội tụ (điều kiện dừng) của bài toán.

Quy trình chẩn đoán kiến nghị

Trong bài báo này, một quy trình chẩn đoán vị trí và mức độ hư hỏng cho kết cấu khung được kiến nghị (Hình 1). Đầu tiên, các dạng dao động của kết cấu ở trạng thái ban đầu và trạng thái cần chẩn đoán được xác định bằng đo đạc thực nghiệm hoặc thông qua phân tích theo PTHH. Từ đó, các giá trị năng lượng biến dạng tương ứng được xác định. Tiếp theo, chỉ số MSEBI được tính toán để xác định vị trí của các phần tử hư hỏng. Cuối cùng, thuật toán di truyền được sử dụng để xác định mức độ hư hỏng của các phần tử đã xác định ở bước trước đó.

Trong bước 1, những vị trí hư hỏng trên kết cấu cần chẩn đoán được giả định theo mức độ suy giảm độ cứng khác nhau của phần tử; dạng dao động ϕ_i^d của kết cấu lúc này được xác định theo phương pháp PTHH. Trong bước 2, chương trình GA được thực thi với mục tiêu tìm ra tập hợp các giá trị α^s sao cho hàm mục tiêu (10) đạt giá trị nhỏ nhất. Hàm mục tiêu được thiết lập với biến số là mức độ suy giảm độ cứng α của các phần tử hư hỏng cần chẩn đoán với cận của biến số $\alpha = [0 \div 1]$. Trải qua các bước cơ bản như: chọn lọc, lai tạo, đột biến mà các cá thể mới được tạo ra. Quá trình di truyền được lặp đi lặp lại; sau một số thế hệ, các cá thể tốt nhất chính là các biến mức độ hư hỏng thỏa mãn điều kiện dừng của bài toán (số vòng lặp tối đa 5000 hoặc giá trị hàm mục tiêu nhỏ hơn hoặc bằng 0,01).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thiết lập bài toán

Xét một kết cấu khung phẳng, một tầng một nhịp, bằng thép, có kích thước, đặc trưng hình học và đặc trưng vật liệu được lấy theo nghiên cứu của Hong và Yong (2002)¹². Mô hình PTHH của khung được thiết lập để phân tích các đặc trưng dao động. Kết cấu khung được chia thành 30 phần tử tương ứng với 31 nút (Hình 2); mỗi phần tử có kích thước 0,1 m được nối với nhau bởi các nút. Bảng 1 cho biết các thông số về đặc trưng hình học và đặc trưng vật liệu của khung. Bảng 2 trình bày bốn kích bản hư hỏng khác nhau được đề xuất để kiểm chứng tính khả thi của quy trình chẩn đoán kiến nghị. Mức độ hư hỏng được xem xét trong nghiên cứu này là mức độ suy giảm độ cứng, được tính bằng %, của các phần tử tương ứng.

Kết quả phân tích dao động tự do

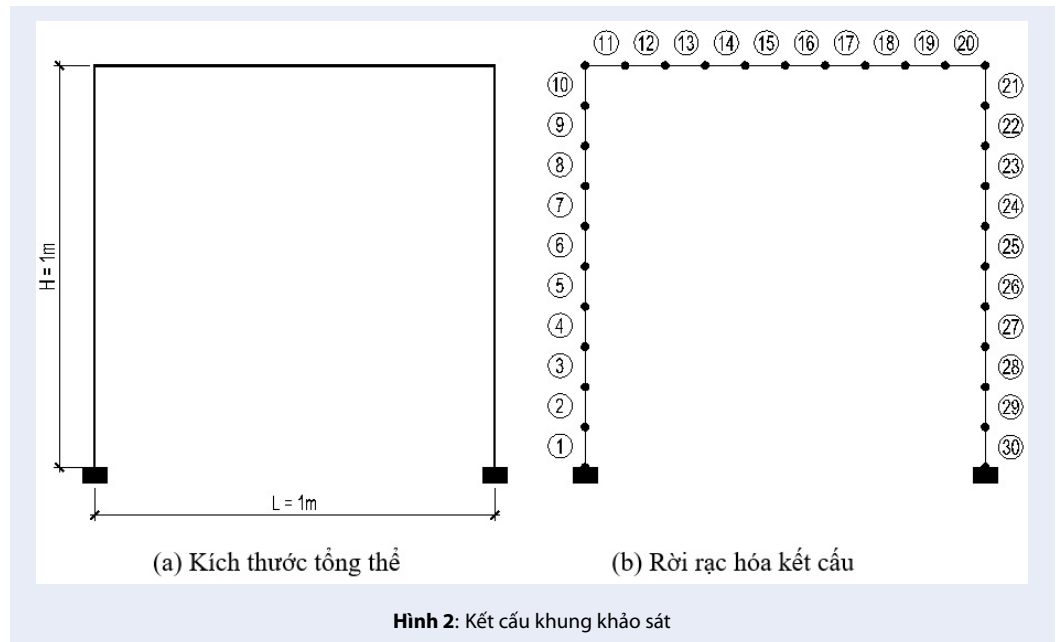
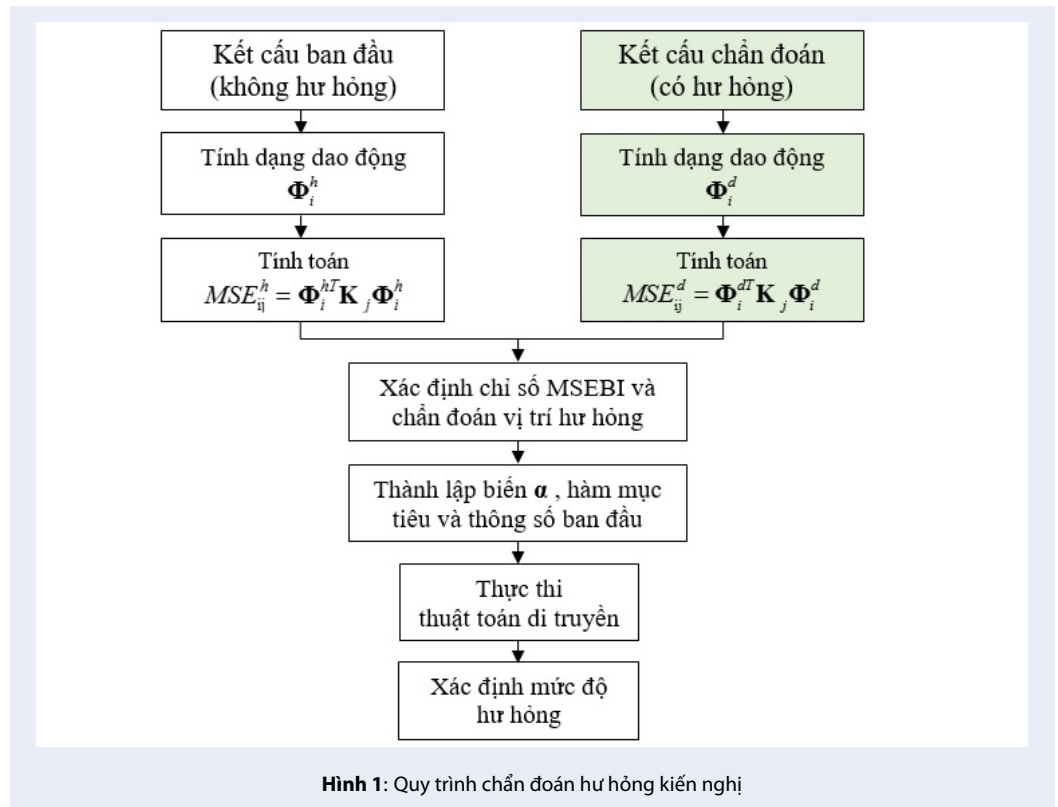
Kết cấu khung được mô phỏng và phân tích theo phương pháp PTHH sử dụng ngôn ngữ lập trình MATLAB. Từ đó, tần số dao động và dạng dao động của khung được trích xuất. Bảng 3 và Hình 3 thể hiện bốn tần số dao động và dạng dao động tương ứng được khảo sát cho trạng thái khung ban đầu. Các giá trị tần số dao động này được so sánh với kết quả phân tích bằng phần mềm SAP2000. Kết quả phân tích cho thấy tần số dao động được tính toán theo chương trình MATLAB rất phù hợp với kết quả phân tích từ phần mềm SAP2000. Độ chênh lệch về tần số dao động từ 0,012% đến 0,262%.

Kết quả chẩn đoán vị trí hư hỏng

Khi sử dụng kết hợp bốn dạng dao động, chỉ số MSEBI được tính toán theo các bước đề xuất ở trên. Vị trí hư hỏng của các phần tử trên kết cấu khung được xác định dựa vào chỉ số MSEBI. Hình 4 thể hiện chỉ số MSEBI, vị trí hư hỏng được xác định chính xác và hoàn toàn phù hợp với các kích bản đã đề xuất ở Bảng 2. Kết quả chẩn đoán cũng cho thấy sự xuất hiện một số phần tử nhiễu như phần tử 7, phần tử 4 ở các kích bản số 1, 2 và 3. Tuy nhiên, bằng tương quan biểu đồ của các kích bản đề xuất thì giá trị chỉ số MSEBI của các phần tử hư hỏng lớn hơn rất nhiều so với phần tử nhiễu. Do đó, chỉ số MSEBI rất chính xác trong việc chẩn đoán vị trí hư hỏng cho kết cấu khung.

Kết quả chẩn đoán mức độ hư hỏng

Sau khi chẩn đoán vị trí hư hỏng, thuật toán di truyền được sử dụng để xác định mức độ hư hỏng của phần tử tính theo phần trăm suy giảm độ cứng được đánh giá dựa vào biến $\alpha = [0; 1]$. Giá trị biến α cần tìm



Bảng 1: Đặc trưng hình học và đặc trưng vật liệu của khung¹²

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Mô đun đàn hồi	N/m ²	2×10 ¹¹
Hệ số Poisson		0,3
Khối lượng riêng	kg/m ³	7,67×10 ³
Tiết diện ngang dầm	mm ²	40,5×10 ⁶
Tiết diện ngang cột	mm ²	50,5×10 ⁶

Bảng 2: Kích bản hư hỏng

Phần tử	11	1 + 11	1 + 11 + 15	1 + 5 + 11 + 15
Mức độ hư hỏng tương ứng (%)	10	20 + 10	20 + 10 + 10	30 + 10 + 20 + 15

Bảng 3: Kết quả phân tích tần số dao động cho trạng thái khung ban đầu

Dạng dao động	1	2	3	4
Nghiên cứu này (Hz)	4,693	18,226	28,947	31,491
SAP2000 (Hz)	4,689	18,223	28,872	31,481
Chênh lệch (%)	0,078	0,012	0,262	0,031

là giá trị thỏa mãn điều kiện dừng của thuật toán. Trong nghiên cứu này, điều kiện dừng của thuật toán là khi số vòng lặp đạt giá trị tối đa (5000 vòng lặp) hoặc khi giá trị hàm mục tiêu (OF) nhỏ hơn hoặc bằng 0,01. Chi tiết về kết quả phân tích GA được thể hiện ở Bảng 4, Bảng 5 và Hình 5.

Khi sử dụng hàm mục tiêu là sự biến thiên về năng lượng biến dạng và kết hợp bốn dạng dao động, kết quả chẩn đoán mức độ hư hỏng rất chính xác, sai số dao động 0 – 1,4%. Một số trường hợp cho kết quả chẩn đoán chính xác gần như tuyệt đối như phần tử số 1, 5 và 11 của kích bản hư hỏng số 3 và 4. Hơn nữa, thuật toán di truyền cũng chẩn đoán chính xác trong trường hợp nhiều vị trí hư hỏng với mức độ hư hỏng khác nhau. Bảng 5 và Hình 5 thể hiện tính hiệu quả của thuật toán di truyền; tốc độ hội tụ nghiệm thể hiện thông qua việc số lượng thế hệ được tạo ra và số vòng lặp mà chương trình phân tích để đạt điều kiện dừng của bài toán. Rõ ràng, thời gian tính toán tỉ lệ thuận với số lượng các phần tử hư hỏng cần được xác định.

KẾT LUẬN

Bài báo này đã kiến nghị một quy trình chẩn đoán hư hỏng cho kết cấu khung thép phẳng sử dụng kết hợp phương pháp năng lượng biến dạng và thuật toán di truyền. Kết quả phân tích cho thấy rằng quy trình chẩn đoán kiến nghị đã định vị chính xác phần tử hư hỏng khi sử dụng chỉ số MSEBI và xác định chính xác mức độ hư hỏng của phần tử khi sử dụng thuật toán

di truyền. Độ chính xác của quy trình chẩn đoán kiến nghị đạt 98,6% - 100%. Quy trình kiến nghị có khả năng chẩn đoán chính xác trong trường hợp nhiều phần tử hư hỏng với các mức độ hư hỏng khác nhau.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Nha Trang cho đề tài “Chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu khung sử dụng các đặc trưng của dao động”, mã số TR2020-13-22.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

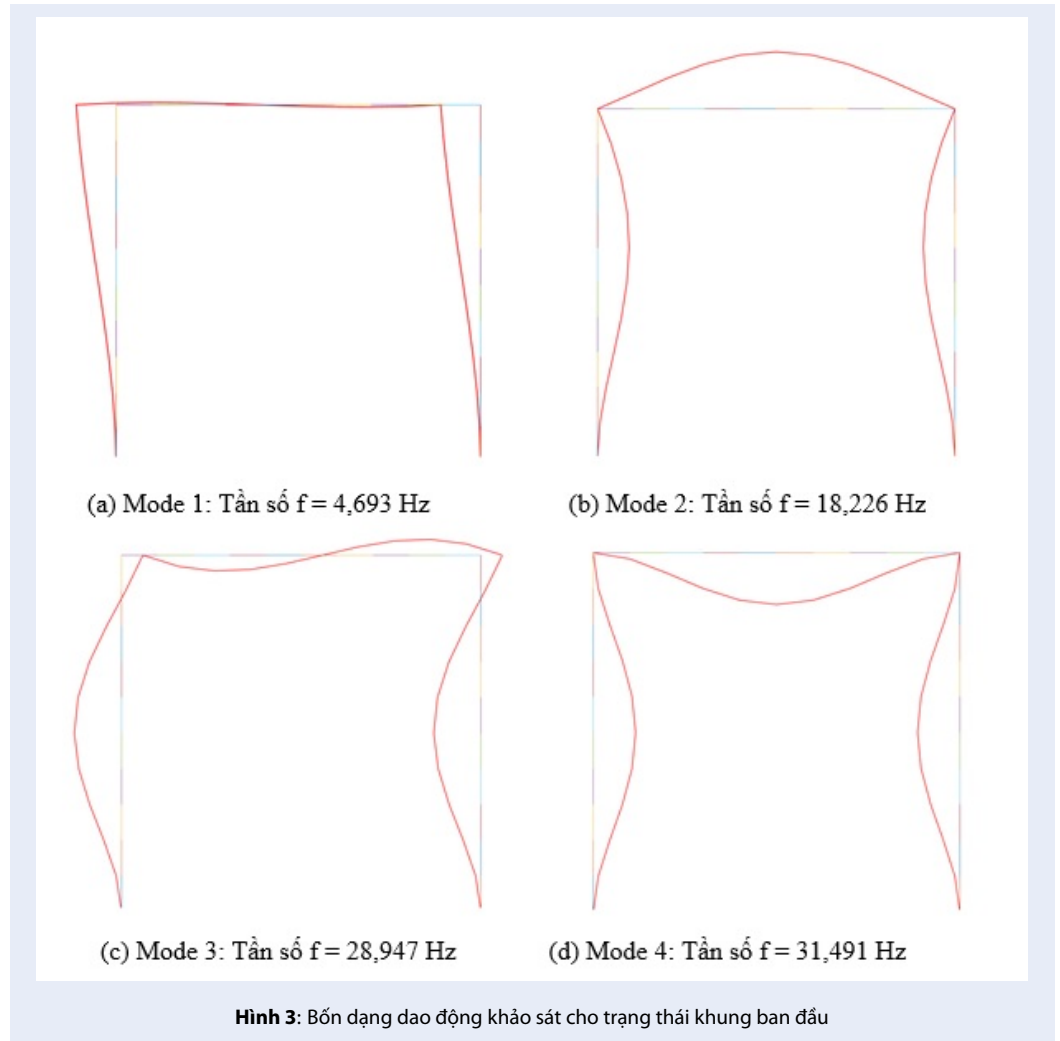
Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Bạch Văn Sỹ đã thực hiện thu thập dữ liệu, lập trình tính toán, trình bày kết quả và viết bài báo. Lê Thanh Cao đã thực hiện phân tích kết quả và viết bài báo. Hồ Đức Duy đã đề xuất ý tưởng của phương pháp và kiểm tra, chỉnh sửa bản thảo bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Fan W, Qiao P. Vibration-based damage identification methods: A review and comparative study. *Structural Health Monitoring*. 2011;10(1):83–111. Available from: <https://doi.org/10.1177/1475921710365419>.
2. Carrasco CJ, et al. Damage localization in a space truss model using modal strain energy. *Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering*. 1997;2:1786–1792. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/253077383>.

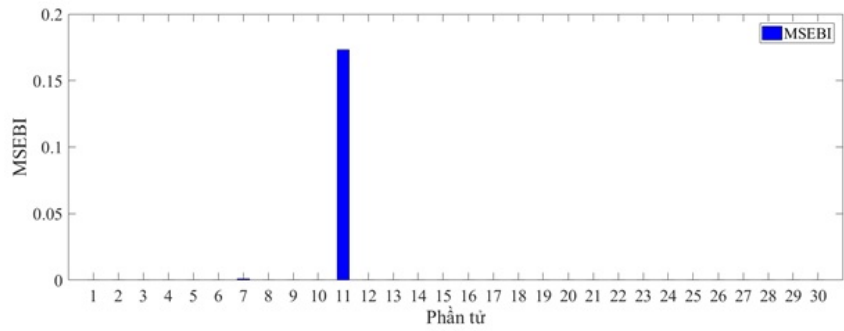


Bảng 4: Kết quả chẩn đoán mức độ hư hỏng của các phần tử

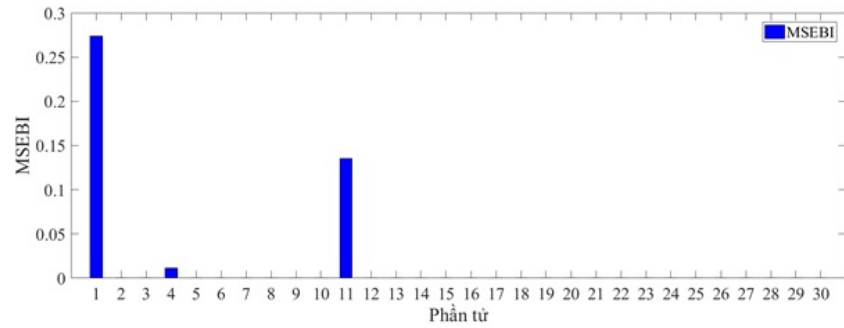
Kịch bản	1		2		3		4			
Phần tử	11	1	11	1	11	15	1	5	11	15
Giá trị giả định (%)	10	20	10	20	10	10	30	10	20	10
Giá trị chẩn đoán (%)	10,14	20,05	10,04	19,99	10	9,88	29,98	10,01	19,95	9,88
Sai số (%)	1,40	0,25	0,40	0,05	0,00	1,20	0,07	0,10	0,25	1,20

Bảng 5: Kết quả của thuật toán di truyền

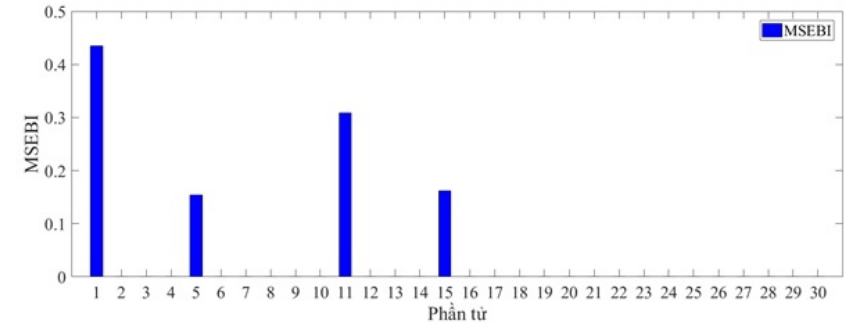
Kịch bản	1	2	3	4
Số lượng thế hệ	10	17	34	39
Số vòng lặp	550	900	1750	2000
Giá trị hàm mục tiêu OF	0,0084	0,005	0,0063	0,009
Thời gian tính, s	14,63	22,87	38,14	44,86



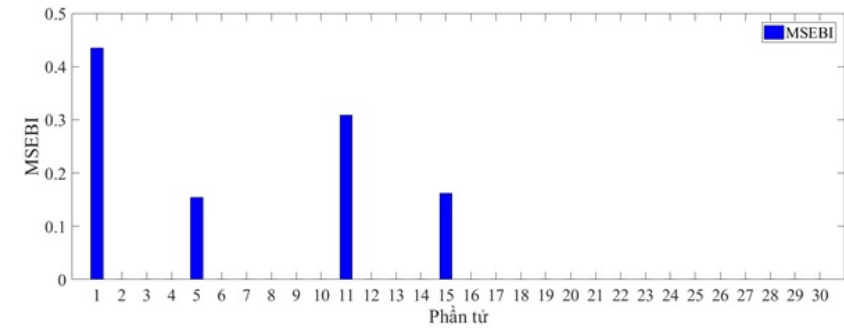
(a) Biểu đồ chỉ số MSEBI cho kích bản hư hỏng số 1



(b) Biểu đồ chỉ số MSEBI cho kích bản hư hỏng số 2

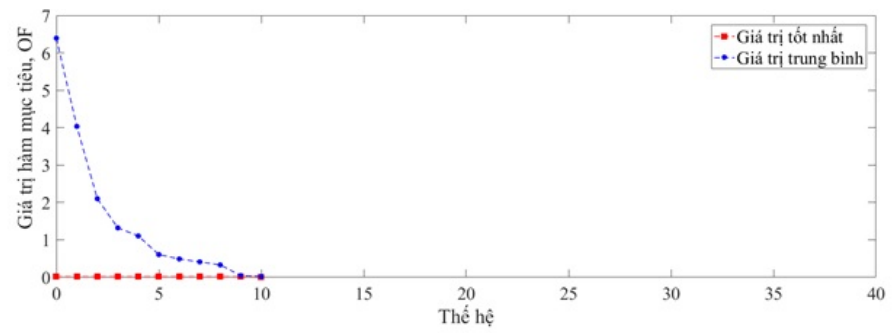


(c) Biểu đồ chỉ số MSEBI cho kích bản hư hỏng số 3

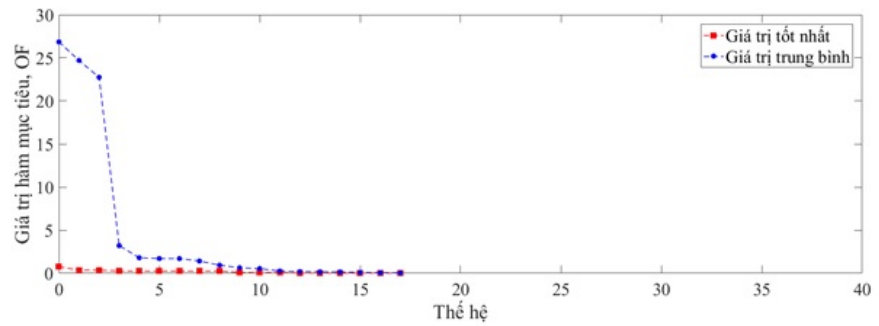


(d) Biểu đồ chỉ số MSEBI cho kích bản hư hỏng số 4

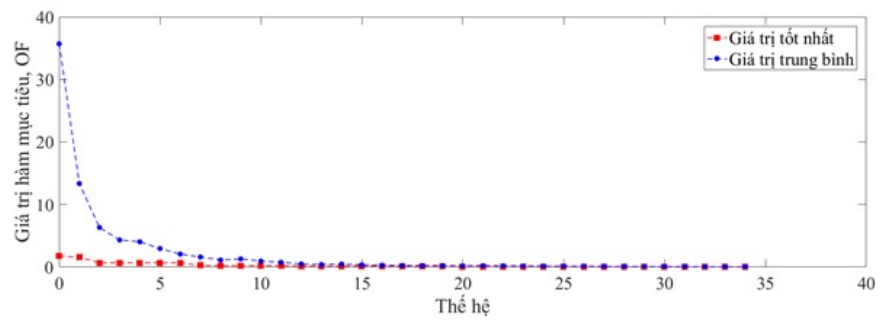
Hình 4: Kết quả chẩn đoán vị trí hư hỏng theo chỉ số MSEBI



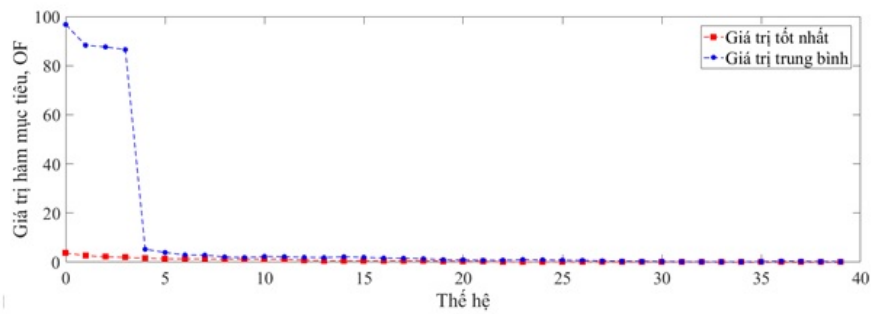
(a) Kịch bản hư hỏng số 1



(b) Kịch bản hư hỏng số 2



(c) Kịch bản hư hỏng số 3



(d) Kịch bản hư hỏng số 4

Hình 5: Giá trị hàm mục tiêu theo số lượng thế hệ phát sinh từ các cá thể

3. Shi JY, et al. Structural damage localization from modal strain energy change. *Journal of Sound and Vibration*. 1998;218(5):825–8448. Available from: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.1878>.
4. Cha IJ. Modal strain energy based damage detection using multi-objective optimization. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. 2014;5:125–133. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-04570-2_14.
5. Cao LT, et al. Chẩn đoán hư hỏng trong kết cấu tấm sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng kết hợp với thuật toán di truyền. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXD*. 2020;14(4V):16–28. Available from: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-02).
6. Le TC, et al. Crack detection in plate-like structures using modal strain energy method considering various boundary conditions. *Shock and Vibration*, Article ID 9963135. 2021;p. 1–17. Available from: <https://doi.org/10.1155/2021/9963135>.
7. He C, et al. A new optimal sensor placement strategy based on modified modal assurance criterion and improved adaptive genetic algorithm for structural health monitoring. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015;p. 1–10. Available from: <https://doi.org/10.1155/2015/626342>.
8. Trung VD, Vinh HH, et al. A two-step approach for damage detection in laminated composite structures using modal strain energy method and an improved differential evolution algorithm. *Composite Structures*. 2016;147:42–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.03.027>.
9. Huy LQ, et al. Chuẩn đoán hư hỏng kết cấu khung không gian sử dụng phương pháp năng lượng biến dạng kết hợp với thuật toán di truyền. *Tạp chí Xây dựng*. 2017;2017(9):6–10.
10. Nick H, et al. Damage identification in steel girder bridges using modal strain energy-based damage index method and artificial neural network. *Engineering Failure Analysis*. 2021;119(5):105010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105010>.
11. Seyedpoor SM. A two-stage method for structural damage detection using a modal strain energy-based index and particle swarm optimization. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2012;47(1):1–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2011.07.011>.
12. Hao H, et al. Vibration-based damage detection of structures by genetic algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE Library*. 2002;16(3):222–229. Available from: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2002\)16:3\(222\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2002)16:3(222)).

Structural damage detection in steel frames using modal strain energy method and genetic algorithm

Van-Sy Bach^{1,2,3}, Thanh-Cao Le^{1,2,3}, Duc-Duy Ho^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

In recent years, the field of structural health monitoring (SHM) has been receiving the attention of many researchers. In particular, vibration-based structural damage detection methods have proven to be highly effective in civil engineering, mechanical engineering, aerospace engineering, ... This paper presents a two-step procedure for damage detection in steel plane frame structures. In the first step, the damage locations in the frame are detected by Modal Strain Energy Based Index (MSEBI). This index is calculated on the difference from the modal strain energy value of every element before and after damage. In the second step, the damage extents are identified by Genetic Algorithm (GA). The objective function is established on the basis of the change of modal strain energy. A plane steel frame model is built by the finite element method. The results of the frame's free vibration analysis are the input data of the proposed damage detection procedure. In order to improve the accuracy of the damage localization, the MSEBI is determined using the combination of the frame's first four bending mode shapes. The proposed method gives highly accurate results in detecting the damage's location and extent for various damage scenarios.

Key words: damage detection, vibration, modal strain energy, genetic algorithm, frame structures

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Faculty of Civil Engineering, Nha Trang University, 2 Nguyen Dinh Chieu Street, Nha Trang City, Khanh Hoa Province, Vietnam

Correspondence

Duc-Duy Ho, Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: hoducduy@hcmut.edu.vn

History

- Received: 14-8-2021
- Accepted: 21-12-2021
- Published: 31-12-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v4i4.904



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Bach VS, Le TC, Ho DD. **Structural damage detection in steel frames using modal strain energy method and genetic algorithm.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology;* 4(4):1254-1263.