

THÔNG TIN LUẬN ÁN TIẾN SĨ

GIỚI THIỆU

Tên luận án:	Phát triển các phương pháp số nâng cao cho bài toán tối ưu và chẩn đoán sức khỏe kết cấu
Ngành:	Kỹ thuật Xây dựng
Mã số ngành:	9580201
Họ và tên:	Đặng Duy Khanh
Cán bộ hướng dẫn 1:	PGS. TS. Liêu Xuân Quý
Cán bộ hướng dẫn 2:	PGS. TS. Lương Văn Hải
Cơ sở đào tạo:	Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG TP.HCM

NỘI DUNG

Tóm tắt nội dung luận án

Luận án này nhằm giới thiệu phương pháp tối ưu hóa một bước mới để tối ưu hóa đồng thời cấu trúc liên kết, kích thước và hình dạng của giàn chịu nhiều ràng buộc tĩnh và dao động tự do. Để đạt được điều này, một biến giả diện tích cấu trúc liên kết, được gán giá trị rời rạc là 10^{-3} hoặc 1, được sử dụng để biểu diễn sự vắng mặt hoặc có mặt của một thanh giàn. Cách tiếp cận này giúp ngăn chặn sự suy biến của ma trận độ cứng tổng thể trong quá trình giải phương trình cân bằng, đồng thời duy trì tính toàn vẹn của mô hình phần tử hữu hạn, nhờ đó tránh được các phân tích phần tử hữu hạn không cần thiết và tốn thời gian. Diện tích mặt cắt ngang của các thanh giàn được xem xét như các biến kích thước liên tục hoặc rời rạc, trong khi tọa độ không gian của các nút được xử lý như các biến hình dạng liên tục. Mục tiêu là cực tiểu hóa trọng lượng kết cấu dưới nhiều ràng buộc khác nhau, bao gồm ổn định động học, ứng suất, chuyển vị, tần số dao động riêng và tải ổn định Euler. Để tối ưu hóa đồng thời các biến liên tục và rời rạc, một thuật toán lai tiến hóa vi phân và tìm kiếm sinh vật cộng sinh (HDS) được cải tiến và áp dụng. Phương pháp đề xuất được kiểm tra thông qua tám bài toán điển hình về tối ưu hóa đồng thời cấu trúc liên kết, kích thước và hình dạng của giàn 2D và 3D với nhiều ràng buộc tĩnh và dao động tự do. Kết quả cho thấy phương pháp này mang lại các nghiệm có chất lượng cao và cạnh tranh so với các thuật toán tiên tiến khác. Ngoài ra, phương pháp này cũng hứa hẹn khả năng ứng dụng trong tối ưu hóa giàn quy mô lớn trên thực tế.

Song song với đó, nghiên cứu này cũng đề xuất một phương pháp phát hiện hư hỏng hai giai đoạn mới dựa trên giảm bậc mô hình (MOR) cho giàn, sử dụng dữ liệu gia tốc theo chuỗi thời gian từ số lượng cảm biến hạn chế. Giai đoạn đầu tiên giới thiệu một chỉ số năng lượng biến dạng dựa trên gia tốc (ASEI) nhằm xác định các phần tử có khả năng bị hư hỏng cao nhất, giúp giảm đáng kể số lượng biến thiết kế trong bài toán tối ưu ngược ở giai đoạn thứ hai. Vị trí và mức độ hư hỏng sau đó được xác định bằng cách cực tiểu hóa một hàm mục tiêu được cải tiến với tham số phạt động, giúp tăng tốc độ hội tụ và nâng cao chất lượng nghiệm. Do việc đo đặc tính hiệu gia tốc không đầy đủ từ việc hạn chế số lượng các cảm biến, khai triển chuỗi Neumann bậc hai (SNSE) được sử dụng để tìm các giá trị chưa biết của các giàn có độ giảm chấn tỷ lệ, và sau đó suy ra dữ liệu chuỗi thời gian tại các vị trí bậc tự do không được đo. Bài toán tối ưu ngược được giải bằng thuật toán lai đom đóm tiến hóa thích nghi (AHEFA). Bốn ví dụ số cho giàn 2D và 3D, bao gồm nhiều kịch bản hư hỏng và nhiều khác nhau được khảo sát để xác nhận độ tin cậy của phương pháp đề xuất và chứng minh khả năng chẩn đoán cả vị trí và mức độ hư hỏng với chuỗi thời gian ngắn và số lượng cảm biến ít.

Cuối cùng, nghiên cứu còn phát triển thêm phương pháp tối ưu hóa mô hình giảm bậc cho phân tích động lực học của tám phân lớp chức năng bằng phân tích đẳng hình học dựa trên lý thuyết tựa-3D bốn biến. Các đặc trưng động lực học của tám được tìm thấy bằng thuật toán lập hệ thống giảm bậc cải tiến (IIRS), trong đó các bậc tự do (DOF) chính liên quan đến các điểm điều khiển trong mô hình phân tích đẳng hình học (IGA) được tối ưu hóa bằng thuật toán tiến hóa vi phân (DE). Điều này giúp tạo ra một hệ thống IIRS tối ưu với khối lượng đồng nhất tự nhiên, nâng cao độ chính xác trong phân tích dao động bậc cao. Lý thuyết tựa-3D bốn biến tiếp tục giảm số lượng DOF chính trong các mô hình giảm bậc (MOR) trong khi vẫn tính đến biến dạng cắt ngang và ứng suất pháp tuyến, những yếu tố thường bị bỏ qua trong các lý thuyết biến dạng cắt bậc cao (HSDT). Ngoài ra, trường chuyển vị trong mặt phẳng tám được xấp xỉ bằng các hàm B-spline tỷ lệ phi tuyến (NURBS), và phương pháp Galerkin được áp dụng để triển khai hệ IIRS trong khuôn khổ IGA cho phân tích động lực học. Phương pháp Newmark- β sau đó được sử dụng để giải bài toán chuỗi thời gian của hệ giảm bậc. Một số bài toán kiểm chứng được thực hiện để xác nhận tính chính xác của phương pháp đề xuất.

Khả năng ứng dụng trong thực tiễn

Các phương pháp tối ưu hóa và chẩn đoán được đề xuất trong luận án có tính ứng dụng thực tiễn cao, có thể được triển khai ngay trong nhiều lĩnh vực quan trọng. Cụ thể, các giải pháp này cho phép cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của các kết cấu trong các ngành như xây dựng, hàng không vũ trụ, ô tô và nhiều lĩnh vực công nghiệp khác. Nhờ việc áp dụng các thuật toán tối ưu không đạo hàm và mô hình giảm bậc (MOR), quá trình thiết kế, tối ưu hóa kết cấu, kích thước và hình dạng của các kết cấu phức tạp trở nên hiệu quả hơn, đồng thời giảm thiểu chi phí và thời gian trong các giai đoạn thiết kế, chẩn đoán cũng như bảo trì. Bên cạnh đó, trong chẩn đoán sức khỏe kết cấu, các phương pháp như sử dụng chỉ số năng lượng biến dạng dựa trên gia tốc (ASEI) và MOR dựa trên khai triển chuỗi Neumann bậc hai (SNSE) giúp phát hiện hư hỏng chính xác dựa trên dữ liệu từ các cảm biến hạn chế. Điều này không chỉ tăng tốc độ xử lý mà còn nâng cao chất lượng giải pháp, đặc biệt hữu ích trong việc đảm bảo an toàn và kéo dài tuổi thọ của các công trình hoặc thiết bị. Các công cụ này mang lại giá trị thực tiễn rõ rệt bằng cách cung cấp các giải pháp khả thi, tiết kiệm tài nguyên và tối ưu hóa quy trình vận hành trong thực tế.

Những hướng nghiên cứu tiếp theo

Tiếp tục mở rộng HDS để tối ưu hóa đa mục tiêu về cấu trúc liên kết, kích thước và hình dạng của giàn lớn dưới tải động đất, đồng thời phát triển các mô hình giảm bậc (MOR) nhằm chẩn đoán hư hỏng trên khung, tấm và vỏ xét ứng xử phi tuyến. Các vấn đề hạn chế về độ chính xác khi có độ nhiễu cao và hư hỏng dưới 5% cũng cần được nghiên cứu thêm. Vị trí, số lượng cảm biến và tải kích thích cần được xác định dựa trên bài toán tối ưu nhằm đo được các dữ liệu hiệu quả nhất cho việc chẩn đoán hư hỏng. Ngoài ra, các nghiên cứu thực nghiệm cũng cần được tiến hành để so sánh và khắc phục những thiếu sót của mô hình số đã được đề xuất.

TP.HCM, ngày tháng năm 2025

Cán bộ hướng dẫn 1

Cán bộ hướng dẫn 2

Nghiên cứu sinh

PGS. TS. Liêu Xuân Quý

PGS. TS. Lương Văn Hải

Đặng Duy Khanh