

TỐI ƯU HÓA HÌNH HỌC SỬ DỤNG CÁC THÀNH PHẦN HÌNH HỌC CHO VIỆC TRÍCH XUẤT TRỰC TIẾP THIẾT KẾ TỐI ƯU

TOPOLOGY OPTIMIZATION USING GEOMETRIC COMPONENTS FOR DIRECT EXTRACTION OF OPTIMIZED DESIGNS

HOÀNG VĂN NAM

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam,

Email liên hệ: namhv.vck@vmaru.edu.vn

Tóm tắt

Đây là một sự mở rộng công trình nghiên cứu trước đây của chúng tôi, một phương pháp cải tiến về tối ưu hóa hình học của kết cấu sử dụng các thành phần hình học di chuyển được trình bày. Các thành phần hình học được tham số hóa bởi các tham số hình học bằng cách chiếu chúng lên một hệ lưới cố định. Đường bao của kết cấu tối ưu được biểu diễn tường minh bởi các tham số hình học, cho phép trích xuất trực tiếp bản thiết kế cuối cùng mà không cần trải qua nhiều bước xử lý kết quả sau tối ưu hóa hình học.

Từ khóa: Tối ưu hóa hình học, Các thành phần hình học, Trích xuất trực tiếp kết quả tối ưu.

Abstract

This is an extension of our previous work, an improved topology optimization approach of structures using geometric components is presented. The geometric components are parameterized with geometric parameters by projecting them on a fixed grid. The boundary of the optimal structure is explicitly expressed by the geometric parameters, allowing direct extraction of the final design without having to go through many steps of post-processing topologically optimized results.

Keywords: Topology optimization, Geometric components, Direct extraction of optimized designs.

1. Giới thiệu

Các phương pháp tối ưu hóa hình học truyền thống như phương pháp SIMP [1], level set [2], phase field [3] hay BSO [4] có số lượng biến thiết kế lớn, bằng số phần tử lưới (hoặc số nút lưới) của miền thiết kế. Quá trình tối ưu hóa yêu cầu không gian thiết kế lớn cũng như đòi hỏi nhiều tính toán. Người thiết kế thường gặp khó khăn giải về chi phí tính toán khi giải quyết các bài toán tỉ lệ lớn hay bài toán không gian. Nhằm giảm bớt số lượng biến thiết kế cũng như giảm thiểu chi phí tính toán, các nghiên cứu của chúng tôi [5, 6, 7] đã đề xuất một phương pháp tối ưu hóa hình học sử dụng các thành phần hình học, được tham số hóa với các tham số hình học như các biến về tọa độ vị trí và chiều dày. Các thành phần hình học đóng vai trò như các khối vật liệu có thể di chuyển trong miền thiết kế để xếp chồng với nhau tạo thành kết cấu tối ưu. Kết quả tối ưu nhận được với độ hội tụ nhanh và ổn định. Kết quả không nhạy với sự thay đổi về kích thước của lưới. Các đường bao ngăn cách giữa vùng vật liệu và vùng không vật liệu rõ nét. Phương pháp không cần sử dụng đến các kĩ thuật lọc hoặc chiếu như các phương pháp truyền thống [5, 6, 7].

Kết quả tối ưu hóa hình học theo các phương pháp truyền thống như SIMP, phase field, và BSO thường cần được thông qua một số công đoạn xử lý như loại bỏ các phần tử xám, làm trơn tru biên dạng của kết cấu. Trải qua các công đoạn đó, kết cấu có thể bị giảm bớt các tính chất tối ưu, do đó cần thiết có thêm một công đoạn tối ưu hóa hình dạng để bù lại. Thật may mắn là phương pháp của chúng tôi sử dụng các tham số hình học để biểu diễn tường minh đường bao của kết cấu tối ưu. Do đó, cho phép chúng ta trích xuất trực tiếp bản thiết kế mà không cần phải trải qua nhiều công đoạn. Phương thức trích xuất và kết quả được trình bày tóm tắt như sau đây.

2. Thành phần hình học

Hình 1 a minh họa một thành phần hình học (có dạng là một thanh có chiều dày không đổi và được bo tròn ở hai đầu) với 5 biến thiết kế là tọa độ của hai đầu mút của thanh $(x_{k1}, y_{k1}), (x_{k2}, y_{k2})$ và chiều dày của thanh $(t_k = 2r_k)$; r_k là bán kính của cung tròn tại các đầu mút của thanh. Hàm mật độ phần tử được tính như sau [5],

$$\rho_e = 1 - \prod_{k=1}^M \frac{1}{1 + \exp[-\beta(d_{ek} - r_k)]} \quad (1)$$

Trong đó: M là số thanh hình học di chuyển;

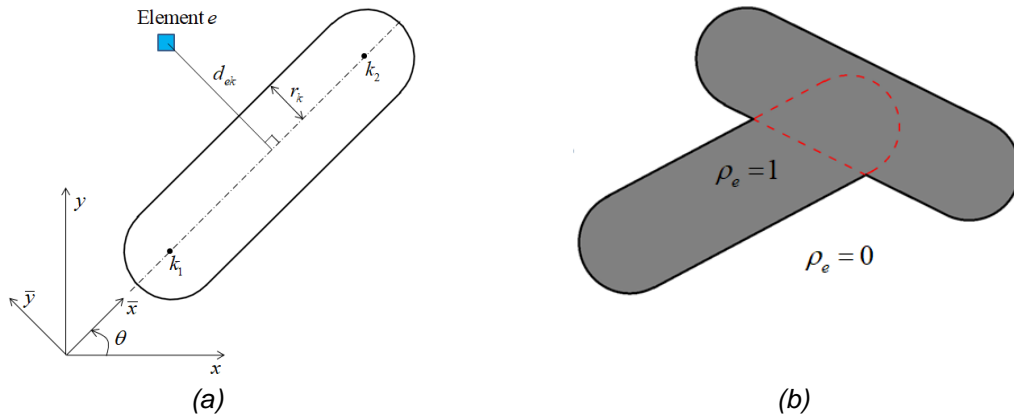
$\beta = 4.5$ là tham số điều khiển tương ứng với hai phần tử lưới đơn vị trung gian trên biên của thanh;

d_{ek} là khoảng cách từ phần tử e tới thanh k ;

$\rho_e = 1$ đối với các phần tử nằm bên trong đường bao của một trong các thanh (tương ứng với vùng có vật liệu);

$\rho_e = 0$ đối với các phần tử nằm bên ngoài đường bao của tất cả các thanh (vùng không chứa vật liệu), và mật độ phần tử nhận giá trị trung gian giữa 0 và 1 đối với các phần tử nằm lân cận đường biên của các thanh.

Trong quá trình tối ưu hóa, các thanh hình học có thể chồng lên nhau như được minh họa trên Hình 1b. Một chương trình con được thiết kế để theo dõi các đường bao của vùng vật liệu, xóa các đoạn đường bao không cần thiết (nét đứt trên Hình 1b), giữ lại phần đường bao cần thiết (nét liền trên Hình 1b), và trực tiếp trích xuất mô hình CAD.



Hình 1. Thành phần hình học:
(a) một thanh hình học di chuyển, (b) hai thanh hình học di chuyển chồng lên nhau

3. Bài toán tối ưu hóa hình học

Bài toán tối ưu hóa hình học với hàm mục tiêu là cực tiểu hóa thế năng biến dạng đàn hồi tích lũy trong toàn hệ dưới tác dụng của ngoại lực được thành lập như sau,

Cực tiểu hóa hàm mục tiêu $c = \sum_{e=1}^N \rho_e \eta \mathbf{u}_e^T \mathbf{k}_0 \mathbf{u}_e$ ràng buộc bởi:

$$\begin{cases} \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{F} \\ \sum_{e=1}^{N_e} \rho_e V_e - fV_0 \leq 0 \\ \mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: \mathbf{K} , \mathbf{u} , và \mathbf{F} là ma trận độ cứng tổng thể, vector chuyển vị tổng thể và vector lực tổng thể, tương ứng;

\mathbf{k}_0 là ma trận độ cứng phần tử ứng với vật liệu đã cho;

\mathbf{u}_e là vector chuyển vị phần tử ($e = 1, 2, \dots, N$; N là số phần tử lưới).

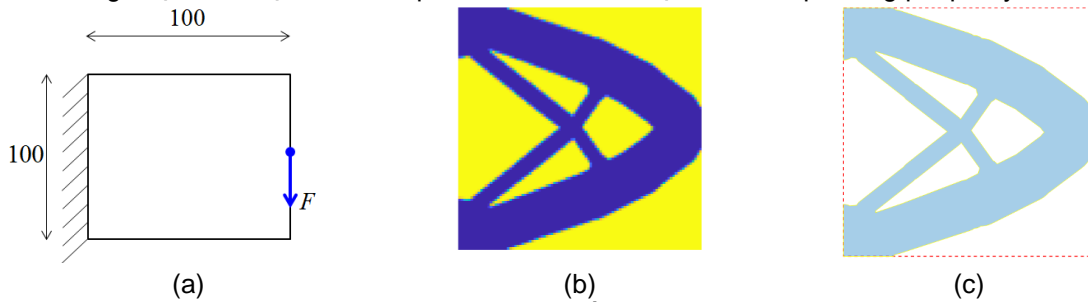
Hệ số mũ $\eta = 3$. V_0 và V_e là thể tích của miền thiết kế và phần tử e , tương ứng và f là tỉ lệ của thể tích vật liệu cho phép so với thể tích của miền thiết kế. \mathbf{x} là vector biến thiết kế bao gồm tọa độ vị trí và chiều dày của các thành phần hình học.

4. Một số bài toán tối ưu hóa kết cấu

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp, chúng tôi tiến hành tối ưu hóa bài toán kết cấu chuẩn về dầm cantilever. Hai trường hợp tải trọng được nghiên cứu, một là dầm chịu tải trọng tập trung ở điểm giữa bên phải của dầm (Hình 2), hai là dầm chịu tải trọng tập trung ở góc dưới bên phải của dầm (Hình 3). Giả thiết vật liệu thiết kế là đồng nhất và đẳng hướng có mô đun đàn hồi $E = 1$, hệ số poisson $\mu = 0.3$, và lực tập trung theo phương thẳng đứng $F = 1$. Miền thiết kế của bài toán ứng suất phẳng được rời rạc hóa với các phần tử lưới hình vuông có kích thước bằng một đơn vị.

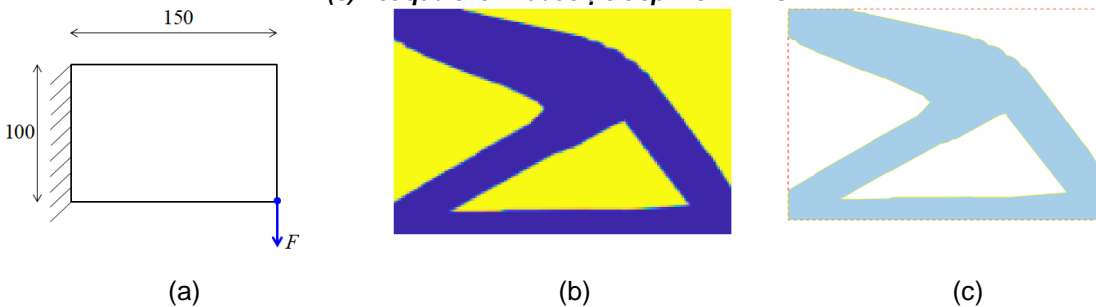
Kết quả cực tiểu hóa năng lượng biến dạng tích lũy trong kết cấu được thể hiện trong Hình 2 và Hình 3. Trong đó, Hình 2b và 3b là hình dáng tối ưu của kết cấu được thể hiện dưới dạng trường mật độ phần tử; Hình 2c và 3c thể hiện kết quả trích xuất trực tiếp bản thiết kế từ các tham số hình

học sang mô hình CAD để chế tạo. Ở đây, quá trình trích xuất được thực hiện bằng cách theo dõi các đường bao của các thành hình học và giữ lại phần đường bao cần thiết mà không cần phải qua nhiều công đoạn như việc xử lý kết quả sau tối ưu hình học theo các phương pháp truyền thống.



Hình 2. Bài toán dầm cantilever 1:

(a) định nghĩa bài toán, (b) kết quả tối ưu dưới dạng trường mật độ ($c = 14,92$),
(c) kết quả trích xuất trực tiếp mô hình CAD



Hình 3. Bài toán dầm Cantilever 2:

(a) định nghĩa bài toán, (b) kết quả tối ưu dưới dạng trường mật độ ($c = 41,24$),
(c) kết quả trích xuất trực tiếp mô hình CAD

5. Kết luận và thảo luận

Bài báo giới thiệu một phương pháp về tối ưu hóa hình học sử dụng các thành phần hình học được tham số hóa bởi các tham số hình học. Phương pháp sử dụng số lượng biến thiết kế giảm đáng kể so với các phương pháp truyền thống. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng 34 thành phần hình học tương ứng với 170 biến thiết kế, trong khi nếu sử dụng các phương pháp truyền thống thì số lượng biến thiết kế sẽ tăng lên tới 10.000 đối với Hình 2 và 15.000 đối với Hình 3. Như vậy phương pháp của chúng tôi yêu cầu ít dung lượng máy tính hơn và giảm thiểu chi phí tính toán. Ngoài ra, việc trích xuất trực tiếp mô hình CAD từ bộ tham số hình học tối ưu cũng góp phần giảm chi phí đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M.P. Bendsøe, *Optimal shape design as a material distribution problem*, Struct. Optim. 1, 1989.
- [2] T. Yamada, K. Izui, S. Nishiwaki, A. Takezawa, *A topology optimization method based on the level set method incorporating a fictitious interface energy*, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 199, 2010.
- [3] M. Wallin, M. Ristinmaa, H. Askfelt, *Optimal topologies derived from a phase-field method*, Struct. Multidiscip. Optim. 45, 2012.
- [4] Y.M. Xie, G.P. Steven, *Technical Note a Simple Approach To Structural Optimization*, Computers Struct. 49, 1993.
- [5] Van-Nam Hoang, Gang-Won Jang, *Topology optimization using moving morphable bars for versatile thickness control*, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 317, 2017.
- [6] XuanWang, KaiLong, Van-Nam Hoang, PingHua, *An explicit optimization model for integrated layout design of planar multi-component systems using moving morphable bars*, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 342, 2018.
- [7] V.N. Hoang, N.L. Nguyen, H. Nguyen-Xuan, *Topology optimization of coated structure using moving morphable sandwich bars*, Struct. Multidiscip. Optim. 31, 2019.

Ngày nhận bài: 23/10/2019
 Ngày nhận bản sửa: 26/11/2019
 Ngày duyệt đăng: 30/11/2019