

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN ĐỂ TỐI ƯU KHỐI LƯỢNG VÀ TÍNH THẨM MỸ CỦA GIÀN KHÔNG GIAN

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZE THE MASS AND THE AESTHETICS OF THE TRUSS STRUCTURE

Nguyễn Thanh Thủy, Nguyễn Trường Giang
Khoa Cơ khí và Động lực, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Hiện nay, việc tối ưu trong thiết kế đang được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm nhằm nâng cao chất lượng và giảm giá thành sản phẩm. Trong nghiên cứu này, trên cơ sở thuật toán di truyền và phương pháp phần tử hữu hạn, thuật toán tối ưu được xây dựng và ứng dụng để tối ưu khối lượng và tính thẩm mỹ của giàn không gian nhưng vẫn đảm bảo được những ràng buộc cơ học của kết cấu. Chương trình tối ưu với thuật toán di truyền được xây dựng dựa trên ngôn ngữ lập trình MATLAB với các biến đầu vào là tiết diện các thanh trong giàn, hàm mục tiêu là trọng lượng kết cấu, tính thẩm mỹ. Các ràng buộc là độ bền và độ cứng vững của kết cấu. Hệ giàn thông dụng với 72 phần tử được lựa chọn để minh chứng cho tính khả thi và độ chính xác của thuật toán. Đồng thời, độ bền và độ cứng vững của kết cấu sau tối ưu cũng được kiểm tra lại bằng phần mềm ANSYS.

Từ khóa: Thuật toán di truyền; Phương pháp phần tử hữu hạn; Thuật toán tối ưu; Giàn không gian.

ABSTRACT

Recently, the optimization in design is being interested by many researchers to improve quality and reduce product costs. In this research, based on genetic algorithm and finite element method, the optimization algorithm was built and applied to reduce the total weight and enhance aesthetics of the truss structure, but the mechanical constraints of the truss structure were still ensured. The optimization program with genetic algorithm was built based on the MATLAB programming language. The input variables of the optimization program were the cross section of the trusses, the objective function was the weight of the structure, the aesthetics. The constraints were the strength and the rigidity of truss structure. The common truss structure with 72 elements was selected to demonstrate the feasibility and accuracy of the algorithm. Besides, the strength and the rigidity of truss structure were also tested by using ANSYS software.

Keywords: Genetic algorithm; Finite element method; Optimization algorithm; Truss structure. 

1. TỔNG QUAN

Tối ưu hóa kết cấu là mục tiêu có ý nghĩa kinh tế - kỹ thuật mà những người thiết kế luôn mong muốn đạt được [1]. Cùng với sự phát triển nhanh của kỹ thuật tính toán, máy tính điện tử tốc độ cao, các phần mềm phân tích kết cấu đa năng và chuyên dụng, tối ưu hóa kết cấu ngày càng được nhiều người quan tâm, ứng dụng để giải quyết các bài toán thực tế mà trước đây chưa có điều kiện thuận lợi để thực hiện.

Kết cấu giàn là một kết cấu chịu lực trong kết cấu trong cơ khí, công trình xây dựng được tổ hợp bởi các phần tử kết cấu dạng thanh, thường được làm bằng thép. Giàn không gian là hệ kết cấu dàn mà các phần tử kết cấu của nó chịu lực theo nhiều chiều trong không gian. Hệ giàn không gian có ưu điểm vượt trội là có kết cấu vững chắc, kiến trúc đẹp, độc đáo. Kết cấu giàn không gian được sử dụng ngày càng nhiều trong việc xây dựng các công trình công cộng trên thế giới, do tận dụng tối đa khả năng làm việc của các phần tử thanh (chịu lực dọc) dẫn đến tiết kiệm vật liệu và an toàn trong sử dụng. Vì vậy, mục tiêu tiết kiệm vật liệu, giảm giá thành mà vẫn đạt tiêu chuẩn về chất lượng luôn được đặt lên hàng đầu và việc phân tích tối ưu là một nhu cầu tất yếu.

Bài toán tối ưu được xem là bài toán tìm kiếm giải pháp tốt nhất trong không gian vô cùng lớn của các giải pháp có thể. Khi không gian tìm kiếm của bài toán là lớn, người ta sử dụng kỹ thuật trí tuệ nhân tạo đặc biệt. Thuật toán di truyền là một trong kỹ thuật đó. Thuật toán di truyền hình thành dựa trên quan niệm cho rằng quá trình tiến hóa tự nhiên là quá trình hoàn hảo nhất, hợp lý nhất và tự nó đã mang tính tối ưu. Thuật toán di truyền mô phỏng các hiện tượng tự nhiên: Kế thừa và đấu tranh sinh tồn để cải tiến giải pháp trong không gian giải pháp. Thuật toán di truyền được thừa nhận là một công cụ rất hiệu quả trong tối ưu hóa kết cấu, bao gồm tối ưu kích thước hình dáng và

cấu trúc, [2].

Trong nghiên cứu này, thuật toán di truyền cùng với phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để xây dựng chương trình tối ưu tiết diện thanh trong kết cấu giàn không gian với mục tiêu giảm tối đa trọng lượng kết cấu nhưng vẫn đảm bảo được những ràng buộc cơ học của kết cấu và tính thẩm mỹ của kết cấu. Chương trình được xây dựng trên ngôn ngữ lập trình MATLAB – Một ngôn ngữ lập trình đang được ứng dụng rất rộng rãi trong các ngành tính toán cơ học.

Trong nghiên cứu này, trên cơ sở thuật toán di truyền và phương pháp phần tử hữu hạn, thuật toán tối ưu được xây dựng và ứng dụng để tối ưu khối lượng và tính thẩm mỹ của giàn không gian nhưng vẫn đảm bảo được những ràng buộc cơ học của kết cấu. Chương trình tối ưu với thuật toán di truyền được xây dựng dựa trên ngôn ngữ lập trình MATLAB – Một ngôn ngữ lập trình đang được ứng dụng rất rộng rãi trong các ngành tính toán cơ học.

2. THIẾT LẬP BÀI TOÁN TỐI ƯU

Bài toán tối ưu tiết diện kết cấu giàn không gian về bản chất là bài toán tối ưu với biến rời rạc. Các biến chính là tiết diện của các thanh được chọn từ một danh sách các tiết diện có sẵn (các thanh tiết diện có sẵn của nhà sản xuất). Bài toán tối ưu được phát biểu như sau: Tìm trọng lượng bé nhất của kết cấu dàn không gian thỏa các điều kiện về bền, ổn định, chuyển vị.

Bài toán tối ưu có ràng buộc được biểu diễn như sau:

Cực tiểu hóa:

$$F = \sum_{i=1}^M L_i \cdot \rho_i \cdot A_i \quad (1)$$

Thỏa mãn các ràng buộc:

$$\begin{cases} \frac{\sigma_{i,\max}}{[\sigma]} - 1 \leq 0 \forall i \in [1, M] \\ \frac{u_{i,\max}}{[u]} - 1 \leq 0 \forall i \in [1, N] \end{cases}$$

Trong đó:

A_i – Diện tích tiết diện ngang của phần tử thứ i ;

L_i – Chiều dài của phần tử thứ i ;

ρ_i – Trọng lượng riêng vật liệu của phần tử thứ i ;

σ_i – Ứng suất của phần tử thứ i (ứng suất kéo hoặc ứng suất nén);

$[\sigma]$ – Ứng suất cho phép của phần tử thứ i ;

u_i – Chuyển vị của nút thứ i ;

$[u]$ – Chuyển vị cho phép của nút thứ i ;

M – Số lượng phần tử;

N – Số lượng nút.

Thuật toán di truyền là một thuật toán tối ưu không ràng buộc [2], do đó, việc giải trực tiếp các bài toán tối ưu có ràng buộc là không thể. Vì vậy, chúng ta phải biến đổi bài toán tối ưu ràng buộc trở thành một bài toán tối ưu không ràng buộc.

Có hai phương pháp biến đổi thường dùng là: Phương pháp hàm phạt (penalty function), phương pháp nhân tử Lagrange. Phương pháp được chọn trong nghiên cứu này là phương pháp hàm phạt vì tính chất phổ biến của nó. Trong phương pháp hàm phạt, các ràng buộc của bài toán sẽ được đưa vào hàm mục tiêu theo công thức toán học sau:

$$\Phi(x) = F(x) \cdot [1 + P(x)] \quad (2)$$

Trong đó:

$F(x)$ là hàm mục tiêu của bài toán ràng buộc;

$P(x)$ là các ràng buộc.

Từ biểu thức (2), bài toán tối ưu không ràng buộc được biểu diễn như sau:

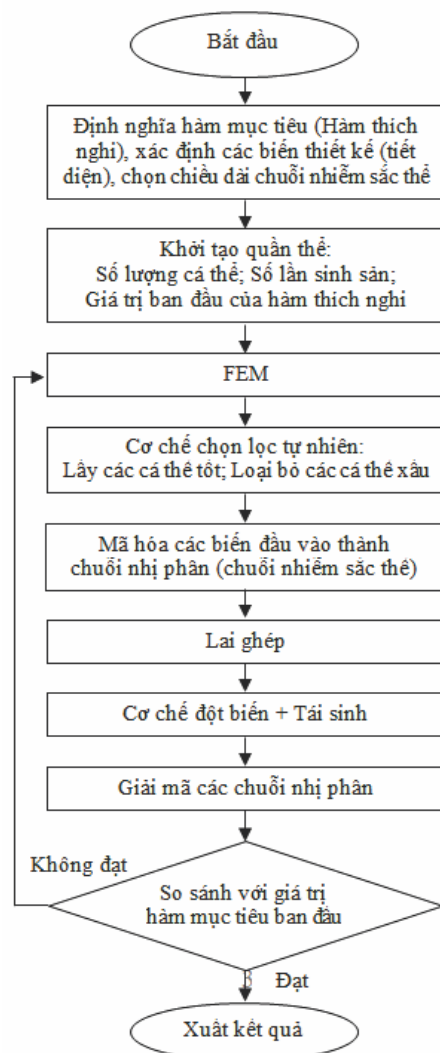
Cực tiểu hóa hàm thích nghi:

$$\Phi = \left(\sum_{i=1}^M L_i \cdot \rho_i \cdot A_i \right) \times \left(1 + \sum_{j=1}^{M+N} k_j \cdot c_j \right) \quad (3)$$

Trong đó:

$$c_j = \begin{cases} \max \left(0, 1 - \frac{\sigma_{j,\max}}{[\sigma]} \right) \forall j \in [1, M] \\ \max \left(0, 1 - \frac{u_{j,\max}}{[u]} \right) \forall j \in [M+1, N] \end{cases}$$

k_j : Hệ số phạt (hay hệ số khuếch đại), theo kinh nghiệm lấy $k_j = 10^6$ [3].



Hình 1. Sơ đồ thuật toán di truyền trong tối ưu kết cấu giàn không gian

Sơ đồ thuật toán di truyền trong tối ưu kết cấu giàn không gian được mô tả như trên Hình 1. Chương trình được xây dựng trên ngôn ngữ lập trình MATLAB và giao diện chương trình được mô tả như trên, Hình 2.



Hình 2. Giao diện chương trình

3. MÔ HÌNH HỆ GIÀN 72 THANH

Mô hình hệ giàn 72 thanh là hệ giàn khá điển hình và có nhiều ứng dụng trong thực tế. Mô hình này đã được Aslani và cộng sự sử dụng để minh chứng cho thuật toán của tối ưu của họ [4]. Trong bài báo, các tác giả cũng sử dụng thuật toán di truyền để tối ưu hệ giàn này, nhưng có một điều khác là tác giả chỉ chú trọng đến việc giảm tối đa trọng lượng giàn mà không quan tâm đến tính thẩm mỹ của kết cấu cho nên kết quả là mỗi phần tử trong hệ giàn có một giá trị tiết diện khác nhau. Điều này không khả thi trong việc chế tạo và ứng dụng vào thực tế. Trong nghiên cứu này, hệ giàn được tối ưu để giảm tối đa về khối lượng và tính thẩm mỹ vẫn luôn được quan tâm để phù hợp với thực tế chế tạo. Hệ giàn được mô hình hóa theo mô hình phần tử hữu hạn bao gồm 72 phần tử thành và 20 nút như trên Hình 3 [4]. Tiết diện ban đầu của 16 thanh đứng, 08 thanh ngang, 08 thanh dọc và 40 thanh xiên lần lượt là 2, 0.05, 0.05 và 0.05 (in²) và được mô tả chi tiết trong Bảng 1. Hệ lực tác dụng lên hệ giàn tại các nút 1, 2, 3 và 4 bằng nhau và có độ lớn $F = 20$ kips. Điều

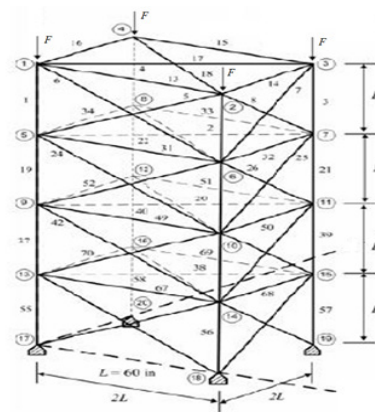
kiện biên tại bốn nút 17, 18, 19 và 20 xem như ngàm cứng.

Bảng 1. Tiết diện ban đầu các thanh của giàn 72 phần tử:

Loại thanh	Phần tử (e_i)	Giá trị tiết diện ban đầu [in ²]
Thanh đứng (A_1)	(1) ÷ (16)	2
Thanh ngang (A_2)	(17) ÷ (24)	0.05
Thanh dọc (A_3)	(25) ÷ (32)	0.05
Thanh xiên (A_4)	(33) ÷ (72)	0.05

Các thông số cơ học của vật liệu và yêu cầu khi tối ưu:

- Ứng suất cho phép: $[\sigma] = \pm 25$ ksi;
- Hệ số đàn hồi: $E = 10^4$ ksi;
- Khối lượng riêng: $d = 0.1$ lb/in³;
- Tiết diện nhỏ nhất cho phép: 0.01 in²;
- Chuyển vị cho phép: $[u] = \pm 0.25$ in.



Hình 3. Mô hình hệ giàn 72 thanh

4. KẾT QUẢ

4.1. Kết quả tính toán tối ưu

Chọn độ lớn quần thể khởi tạo là 500, số lần di truyền là 500, xác suất lai ghép 0.5, xác suất đột biến 0.03, số Bits nhị phân biểu

diễn mỗi giá trị biến (cá thể) lấy là 30. Sau 500 lần sinh sản, hệ giàn 72 thanh sau khi tối ưu có trọng lượng giảm được khoảng 16.55% so với kết cấu chưa được tối ưu. Trong khi đó, ứng suất lớn nhất xuất hiện trong giàn $\sigma_{\max}$ và chuyển vị lớn nhất $u_{\max}$ của giàn vẫn đảm bảo đủ điều kiện bền và cứng vững. Kết quả chi tiết được nêu trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tối ưu hệ giàn 72 thanh:

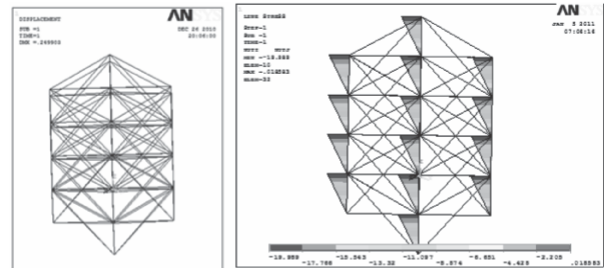
Thông số	Chưa tối ưu	Sau tối ưu
Ứng suất $\sigma_{\max}$ (ksi)	9.9769	10.023
Chuyển vị $u_{\max}$ (in)	0.23935	0.24053
Các tiết diện (in^2):		
A_1	2.00	1.919
A_2	0.05	0.010
A_3	0.05	0.010
A_4	0.05	0.010
Tổng trọng lượng (lb)	229.8545	191.8141 (Giảm 16.55%)

4.2. Kiểm tra kết quả phân tích ứng suất và chuyển vị trên phần mềm ANSYS

Hệ giàn 72 thanh được xây dựng trên phần mềm ANSYS với các số liệu tiết diện các thanh là tiết diện sau tối ưu. Kết quả phân tích chuyển vị và ứng suất thể hiện như trên Hình 4.

Như vậy, chuyển vị lớn nhất phân tích bằng chương trình tối ưu ($u_{\max} = 0.23935$ in) sai khác khoảng 4.22% so với kết quả phân tích trên phần mềm ANSYS ($u_{\max} = 0.249902$ in). Kết quả phân tích ứng suất trên phần mềm ANSYS cho thấy, nội lực lớn nhất xuất hiện trong phần tử thứ 10, tương ứng với tiết diện là 1.919 in^2 . Do đó, ứng suất lớn nhất là ứng suất trong phần tử thứ 10 ($\sigma_{\max} = |-19.989|/1.919 = 10.4163$ ksi). Như vậy, ứng suất lớn nhất phân

tích bằng chương trình tối ưu ($\sigma_{\max} = 10.023$ ksi) sai khác khoảng 3.77% so với kết quả phân tích trên phần mềm ANSYS.



Hình 4. Kết quả phân tích chuyển vị và ứng suất hệ giàn 72 thanh

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tính ưu việt của thuật toán di truyền đã được kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn để xây dựng chương trình tối ưu hóa tổng khối lượng của giàn không gian. Tính khả thi và độ chính xác của thuật toán đã được minh chứng qua việc phân tích hệ giàn 72 thanh. Kết quả phân tích ứng suất và chuyển vị cũng đã được kiểm tra lại trên phần mềm ANSYS. Hệ giàn sau tối ưu có tổng khối lượng giảm so với kết cấu ban đầu mà vẫn đảm bảo được yêu cầu về mỹ thuật và các điều kiện bền, độ cứng vững của kết cấu. ❖

Ngày nhận bài: 12/5/2023

Ngày phản biện: 08/6/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lê Xuân Huỳnh (2006); *Tính toán kết cấu theo lý thuyết tối ưu*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Randy L. H. & Sue E. H (1998); *Practical Genetic Algorithms*. A Wiley – Interscience Publication, United States of America.
- [3]. Eduardo S. C. *A Genetic Algorithms for Structural Optimization of Steel Truss Roofs*. Laboratorio Nacional de Computacao Cientifica – LNCC/MCT.
- [4]. Aslani M., Oftadeh R., Reza N. A. & Masoud S. P., *A novel hybrid Simplex – Genetic Algorithm for the optimum design of truss structure*, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 II.