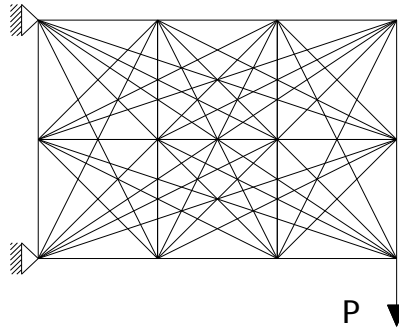


TỐI ƯU VỊ TƯỞNG CỦA KẾT CẤU DÀN PHẪNG SỬ DỤNG THUẬT GIẢI MÔ PHỎNG LUYỆN KIM

Bùi Công Thành, Trương Tuấn Hiệp
Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG – HCM

1. GIỚI THIỆU

Bài toán tối ưu vị tương (Topology optimization) kết cấu dàn chủ yếu được phát biểu trong giới hạn của phương pháp kết cấu nền (ground structure approach) được đề nghị đầu tiên bởi Dorn [8]. Trong phương pháp này, quá trình tìm kiếm bắt đầu từ một kết cấu nền ban đầu được tạo ra bởi một tập hợp n các điểm nút cho trước và $n(n-1)/2$ liên kết thanh có thể giữa các nút (**Hình.1**). Các phương pháp số được sử dụng để loại bỏ các thanh không cần thiết trong kết cấu nền ban đầu này để tìm ra một kết cấu dàn tối ưu. Các phương pháp qui hoạch phi tuyến (nonlinear programming) truyền thống chỉ ứng dụng thành công trong các bài toán nhỏ và rất khó khăn để tìm ra lời giải tối ưu toàn cục. Gần đây, một số lượng các phương pháp tối ưu toàn cục nổi lên như là những thuật toán triển vọng để giải quyết các bài toán tối ưu phức tạp. Các phương pháp phổ biến nhất bao gồm: Thuật giải di truyền, mô phỏng luyện kim (SA), tabu search...



Hình. 1. Kết cấu nền có 12 nút và 66 thanh

Trong bài báo này sẽ trình bày một chiến lược dựa vào thuật giải SA để tối ưu đồng thời kích thước và vị tương của kết cấu dàn phẳng theo phương pháp kết cấu nền. Liên quan đến khả năng ứng dụng và hiệu quả của thuật giải SA cho bài toán, trong nghiên cứu này sẽ xem xét hai vấn đề; đầu tiên là một phương pháp đặc trưng để đáp ứng việc tạo ra các vị tương khác nhau giữa thiết kế hiện hành và thiết kế dự tuyển sẽ được kết hợp chặt chẽ vào trong thuật giải, thứ hai là hiệu quả của thuật giải SA khi sử dụng hai thông số bổ sung là “thông số Boltzmann có trọng số (weighted Boltzmann parameter)” và “thông số Boltzmann tới hạn (critical Boltzmann parameter)” được đề nghị bởi Hasancebi [5].

2. PHÁT BIỂU BÀI TOÁN TỐI ƯU VỊ TƯỞNG (TOPOLOGY) KẾT CẤU DÀN

Bài toán thiết kế tối ưu đồng thời kích thước và vị tương (Topology) của kết cấu dàn đối với trọng lượng được phát biểu như sau:

2.1. Các biến thiết kế

Tập hợp các biến thiết kế bao gồm các vectơ thông số thiết kế X và T lần lượt đại diện cho tất cả các biến kích thước và vị tương được sử dụng trong quá trình tối ưu, với biến kích thước được xem xét là biến rời rạc.

$$X_{Nm \times l}^T = [X_i | X_i \in S^p \cup S^f, i = 1, \dots, N_m] \quad (1)$$

$$T_{N_m \times 1}^T = [T_i | T_i \in S^0 \cup S^1, i = 1, \dots, N_m] \quad (2)$$

Trong đó N_m là tổng số thanh trong kết cấu, X_i là diện tích mặt cắt ngang của thanh thứ i trong kết cấu, S^p là tập hợp các diện tích mặt cắt có sẵn, S^f chỉ các thanh có diện tích mặt cắt bằng 0 và bị loại bỏ từ mô hình thiết kế và T_i là biến vị tương của thanh thứ i trong kết cấu điều khiển sự xuất hiện hoặc không xuất hiện của thanh thứ i trong mô hình thiết kế tối ưu. Trong trường hợp nếu thanh thứ i xuất hiện trong kết cấu, $T_i \in S^1$ và nếu thanh thứ i không xuất hiện thì, $T_i \in S^0$. Do đó, có một mối liên hệ giữa các biến kích thước và vị tương: $\forall i: T_i \in S^1 \Leftrightarrow X_i \in S^p$ và $\forall i: T_i \in S^0 \Leftrightarrow X_i \in S^f$

2.2. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu không ràng buộc (W_u) được chọn để tối ưu là trọng lượng của kết cấu dàn được định nghĩa trong phương trình (3). Trong đó L_i và r_i là chiều dài và trọng lượng riêng của thanh thứ i .

$$W_u(X_i, T_i) = \sum_{\forall T_i \in S^1, i=1}^{N_m} r_i X_i L_i \quad (3)$$

2.3. Quản lý ràng buộc

Các ràng buộc của bài toán về ứng suất, ổn định Euler và chuyển vị lần lượt là:

$$\forall T_i \in S^1 : g_i = g_i(X_i) = \max \left\{ 0, \left| \frac{s_i}{s_i^0} \right| - 1 \right\} \quad (4)$$

$$\forall T_i \in S^1 : h_i = h_i(X_i) = \max \left\{ 0, \left| \frac{s_i}{s_{Ei}^0} \right| - 1 \right\} \text{ đối với } s_i \leq 0 \quad (5)$$

$$u_{j,k} = u_{j,k}(X_i) = \max \left\{ 0, \left| \frac{U_{j,k}}{U_{j,k}^0} \right| - 1 \right\} \quad (6)$$

Trong đó s_i là ứng suất trong thanh thứ i , $U_{j,k}$ là chuyển vị của nút thứ j theo hướng k . Các giá trị ứng suất, chuyển vị cho phép lần lượt là s_i^0 , $U_{j,k}^0$ và s_{Ei}^0 là ứng suất ổn định Euler. Để quản lý các vi phạm ràng buộc ta sử dụng phương pháp hàm phạt theo Bennage và Dhingra [2].

Hàm mục tiêu ràng buộc, $W_c(X_i, T_i)$:

$$W_c = \sum_{\forall T_i \in S^1, i=1}^{N_m} r_i X_i L_i \left[1 + R \left[\sum_{\forall T_i \in S^1, i=1}^{N_m} (g_i + h_i) + \sum_{j=1}^{N_n} \sum_{k=1}^2 u_{j,k} \right] \right] \quad (N_n \text{ là tổng số lượng nút}) \quad (7)$$

Trong đó R là hệ số phạt có giá trị thích hợp nằm trong khoảng 0.9 và 1 theo [2].

3. THIẾT KẾ KÍCH THƯỚC VÀ VỊ TƯƠNG CỦA KẾT CẤU DÀN PHẪNG

Các biến kích thước được chọn từ các diện tích mặt cắt có sẵn trong một tập hợp các diện tích mặt cắt (S^P) . Tập hợp này được ký hiệu theo chỉ số trong một trình tự sắp xếp tăng dần của các diện tích mặt cắt. Quá trình chọn lựa của một biến kích thước đối với một diện tích mặt cắt có sẵn được thực hiện thông qua các chỉ số này. Do đó, mỗi biến kích thước được gán cho một số nguyên (V_{x_i}) , số nguyên này tương ứng với một chỉ số của diện tích mặt cắt có sẵn, số nguyên này có dạng, $V_{x_i} \in [1, \dots, N_s]$, trong đó N_s là số lượng các diện tích mặt cắt trong tập hợp (S^P) .

Mỗi giá trị của biến vị tương (V_{T_i}) được mã hóa theo số nhị phân, sự mã hóa này cho phép đánh giá thanh thứ i trong kết cấu nền ban đầu có xuất hiện trong một mô hình thiết kế đặc trưng hay không. Trong sự mã hóa theo số nhị phân này, $V_{T_i} \in [0,1]$ và $V_{T_i} = 1$, $V_{T_i} = 0$ lần lượt chứng tỏ sự xuất hiện hay không xuất hiện của thanh thứ i trong mô hình thiết kế đặc trưng.

4. THUẬT GIẢI MÔ PHÒNG LUYỆN KIM (SIMULATED ANNEALING)

Thuật giải mô phỏng luyện kim là một thuật giải mô phỏng theo quá trình tôi (annealing) của hệ thống vật lý trong nhiệt động lực học. Quá trình tôi có thể được mô tả như sau: Chúng ta xem xét các sự giảm nhiệt độ liên tiếp bắt đầu từ một nhiệt độ lớn nhất t^0 , ở mỗi nhiệt độ được giảm t , hệ thống được phép đạt tới trạng thái cân bằng nhiệt. Ở trạng thái cân bằng nhiệt này, xác suất của hệ thống ở trong trạng thái i được đặc trưng bởi phân bố Boltzmann.

$$P(E = E_i) = \frac{1}{Z(t)} \left(\frac{-E_i}{Kt} \right) \quad (8)$$

Trong đó E_i là năng lượng của trạng thái i , $Z(t)$ là một hàm chuẩn hóa (normalization function), K là hằng số Boltzman. Khi nhiệt độ t giảm, phạm vi của phân bố Boltzmann sẽ tập trung vào các trạng thái có mức năng lượng thấp nhất. Vì vậy khi nhiệt độ t giảm quá thấp, hệ thống sẽ đóng băng (freeze) và nếu nhiệt độ giảm đủ chậm thì trạng thái bị đóng băng (frozen state) này sẽ có mức năng lượng cực tiểu.

Kirkpatrick [7] là người đầu tiên dựa vào ý tưởng sự tương tự giữa quá trình tôi với việc giải quyết một bài toán tối ưu tổ hợp để phát triển thuật giải SA. Sơ đồ khối tổng quát của thuật giải SA sử dụng trong nghiên cứu được cho ở trong hình 2, còn chi tiết của thuật giải và ứng dụng của nó cho bài toán tối ưu vị tương kết cấu dàn được xem xét ở phần tiếp theo.

4.1. Tạo ra thiết kế ban đầu

Thiết kế ban đầu được tạo ra bằng cách mỗi biến kích thước được gán cho một giá trị ngẫu nhiên trong một tập hợp diện tích mặt cắt rời rạc của S^P , và tất cả các biến vị tương được lấy giá trị $V_{T_i} = 1$.

4.2. Lịch biểu làm nguội (Cooling schedule)

Lịch biểu làm nguội được sử dụng trong nghiên cứu theo Balling [1], ở đó các thông số lịch biểu làm nguội (t^s, t^f, a) được tính toán giới hạn theo ba thông số. Các thông số này là: Xác suất chấp nhận giả thiết ban đầu (P^s) , xác suất chấp nhận giả thiết cuối cùng (P^f) và số lượng

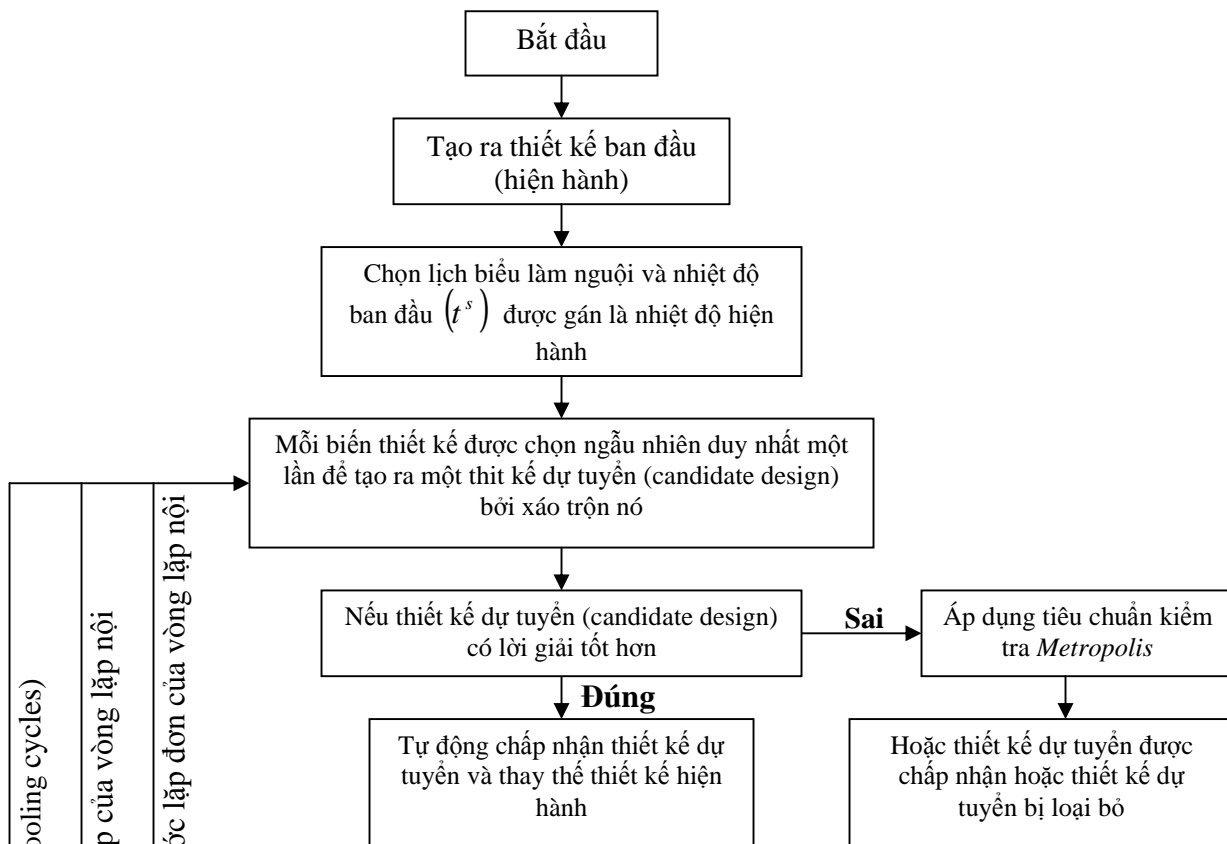
vòng làm nguội (N_c). Việc tính toán các thông số của lịch biểu làm nguội theo phương pháp này cho phép chúng được lựa chọn tự động bất chấp các loại bài toán.

Nhiệt độ bắt đầu,
$$t^s = \frac{1}{\ln(P^s)} \tag{9}$$

Nhiệt độ cuối cùng,
$$t^f = \frac{1}{\ln(P^f)} \tag{10}$$

Hệ số làm nguội,
$$a = \left[\frac{\ln(P^s)}{\ln(P^f)} \right]^{1/(N_c-1)} \tag{11}$$

Trong đó $P^s \in [0.5, 0.9]$, $P^f = 1 \times 10^{-7}$ hoặc $P^f = 1 \times 10^{-8}$ ([1],[2]). Đối với hệ số làm nguội có giá trị nằm trong khoảng ($0 < a < 1$). Nhiệt độ của vòng làm nguội kế tiếp ($t^{(c+1)}$) được tính theo nhiệt độ vòng làm nguội trước (t^c): $t^{(c+1)} = a t^c$. Theo [2] với $N_c = 100$ thì thuật giải sẽ sớm hội tụ về điểm tối ưu cục bộ và các giá trị thích hợp của N_c là 200 và 300.



Hình. 2. Sơ đồ tổng quát của thuật giải SA**4.3. Tạo ra thiết kế dự tuyển (candidate design)**

Việc tạo ra một thiết kế dự tuyển từ một biến kích thước được thực hiện như sau: Nếu một biến kích thước được chọn có giá trị của nó là V_{xi}^c trong thiết kế hiện hành, thì giá trị của nó trong thiết kế dự tuyển (candidate design) là (V_{xi}^a) sẽ được gán ngẫu nhiên một giá trị nằm trong khoảng $V_{xi}^a \in [V_{xi}^c - d_x \geq 1, \dots, V_{xi}^c - 1, V_{xi}^c + 1, \dots, V_{xi}^c + d_x \leq N_s]$, ở đó d_x là giới hạn xáo trộn cho các biến kích thước

Quản lý một biến vị tướng trong quá trình phát sinh một vị tướng khác trong thiết kế dự tuyển được thực hiện bằng cách sử dụng hai phương pháp bổ sung: Phương pháp hoàn lại thanh và loại bỏ thanh (member restoring and removing approach) và phương pháp hoàn lại nút và loại bỏ nút (node restoring and removing).

Trong phương pháp hoàn lại thanh và loại bỏ thanh, quá trình được thực hiện bởi đảo ngược giá trị nhị phân V_{Ti}^c của biến trong thiết kế hiện hành và được sử dụng cho thiết kế dự tuyển V_{Ti}^a , ví dụ: nếu $V_{Ti}^c = 1$ sau đó $V_{Ti}^a = 0$, hoặc nếu $V_{Ti}^c = 0$ sau đó $V_{Ti}^a = 1$. Vì vậy, nếu thanh thứ i xuất hiện trong mô hình vị tướng của thiết kế hiện hành, nó sẽ bị loại bỏ trong mô hình vị tướng của thiết kế dự tuyển. Riêng trường hợp thanh được hoàn lại trong thiết kế dự tuyển, trước khi hoàn lại, ta cần thiết phải bổ sung một sự phân tích liên kết để nhận dạng. Trong phân tích này, biến vị tướng của tất cả các liên kết thanh định nghĩa cho một nút được kiểm tra. Trường hợp tất cả các biến vị tướng là '0' chỉ sự vắng mặt của nút trong mô hình (trong trường hợp này coi nó là

một nút bị động), nếu không thì nó là một nút chủ động. Một thiết kế dự tuyển sẽ không được tạo ra trong trường hợp thanh liên kết với một nút bị động.

Trong phương pháp thứ hai, cho một biến được chọn T_i , đầu tiên các nút liên kết của thanh thứ i được xác định. Tiếp theo một trong hai nút này được chọn ngẫu nhiên với xác suất bằng nhau. Nếu nút chọn là chủ động trong mô hình vị tương của thiết kế hiện hành, nó sẽ là bị động trong thiết kế dự tuyển bởi vì bị loại bỏ, ngược lại nó là chủ động bởi sự hoàn lại. Trong quá trình loại bỏ một nút chủ động, tất cả các biến vị tương ứng với các liên kết thanh của nút bằng không trong thiết kế dự tuyển. Trái lại, khi một nút được hoàn lại, đầu tiên một số thực r_1 được tạo ra ngẫu nhiên trong khoảng $[0,1]$. Quá trình được hoàn thành dưới sự điều khiển của biến ngẫu nhiên khác $r_2 \in [0,1]$, và được thử lại cho mỗi liên kết thanh của nút như sau: Nếu $r_2 < r_1$ và nút khác của thanh là chủ động, kết quả là $V_{ri}^a = 1$, ngược lại ($r_2 > r_1$), $V_{ri}^a = 0$.

Bởi vì có sự kết hợp giữa hai phương pháp trên trong việc quản lý một biến vị tương, cho nên biến vị tương sẽ lựa chọn các phương pháp này trong quá trình tối ưu theo xác suất. Theo [6] đối với phương pháp hoàn lại thanh và loại bỏ thanh được phân bổ với một xác suất là 90% và đối với phương pháp hoàn lại nút và loại bỏ nút được phân bổ với một xác suất là 10%. Phương pháp phân tử hữu hạn được sử dụng để phân tích kết cấu, các thiết kế ổn định vị tương được xác định dựa vào ma trận độ cứng xác định dương [6].

4.4.Chọn lựa thiết kế dự tuyển (candidate design)

Bất cứ khi nào một thiết kế dự tuyển (D^a) mang lại một lời giải tốt hơn so với thiết kế hiện hành (D^c), xác suất chấp nhận của nó $P(D^a \rightarrow D^c) = 1$, và nó sẽ thay thế thiết kế hiện hành ngay lập tức. Quá trình này được biểu diễn toán học như sau:

$$\Delta W = W_c^a - W_c^c \leq 0 \Rightarrow P(D^a \rightarrow D^c) = 1.0 \quad (12)$$

Trong đó W_c^c và W_c^a lần lượt là các giá trị hàm mục tiêu ràng buộc của thiết kế hiện hành và thiết kế dự tuyển, và ΔW là giá trị chênh lệch giữa hai giá trị này. Tuy vậy, nếu thiết kế dự tuyển kém hơn thiết kế hiện hành, sự chấp nhận hay loại bỏ thiết kế dự tuyển phụ thuộc vào tiêu chuẩn kiểm tra "Metropolis"[7].

$$\Delta W = W_c^a - W_c^c > 0 \Rightarrow P(D^a \rightarrow D^c) = e^{-\Delta W / Kt} \leq 1 \quad (13)$$

Trong tiêu chuẩn kiểm tra này, xác suất chấp nhận một thiết kế dự tuyển kém (poor candidate design) là $e^{-\Delta W / Kt}$. Trong đó, t là nhiệt độ của vòng làm nguội, K là thông số Boltzmann được tính theo phần 4.5. Quá trình kiểm tra được hoàn thành với việc tạo ra ngẫu nhiên một số thực $r \in [0,1]$, nếu xác suất chấp nhận của thiết kế dự tuyển kém có giá trị $P \geq r$, nó lập tức được chấp nhận và thay thế thiết kế hiện hành, ngược lại nếu $P < r$, thiết kế dự tuyển bị loại bỏ và thiết kế hiện hành vẫn được duy trì.

4.5.Thông số Boltzman và thông số Boltzmann có trọng số (weighted Boltzmann parameter)

Thông số Boltzmann K sử dụng trong nghiên cứu là một giá trị động, nó là giá trị trung bình của giá trị dương ΔW trong suốt quá trình tối ưu, $K = \Delta W_{ave}$ [2]. Cho nên, mỗi lần khi một thiết kế dự tuyển kém được tạo ra ($\Delta W > 0$), thông số này được cập nhật như sau:

$$K^{(N_a+1)} = \frac{K^{(N_a)} N_a + \Delta W^{(N_a+1)}}{N_a + 1} \quad (14)$$

Trong đó N_a là số lượng các thiết kế dự tuyển kém trước. Các giá trị ban đầu của các thông số trong phương trình trên là: $N_a = 0$ và $K = 1$ cho thiết kế kém đầu tiên.

Trong nghiên cứu này, thông số được sử dụng trong tiêu chuẩn kiểm tra Metropolis là thông số Boltzmann có trọng số K_w [5], nó được hiệu chỉnh từ thông số Boltzmann trong phương trình (14). Trong sự hiệu chỉnh này, toàn bộ quá trình tối ưu (số vòng làm nguội N_c) được chia thành mười giai đoạn khác nhau, mỗi giai đoạn có một số lượng các vòng làm nguội liên tiếp. Cho nên, các vòng làm nguội của giai đoạn tối ưu thứ i ($s_i, i = 1, \dots, 10$) được định nghĩa như trong phương trình (15). Ở đó, c_i^s và c_i^f là vòng làm nguội bắt đầu và cuối cùng của giai đoạn s_i .

$$s_i = \left\{ c_i^s, \dots, c_i^f \mid c_i^s = (i-1) \left(\frac{N_c}{10} \right) + 1, c_i^f = i \frac{N_c}{10} \right\}, \text{ trong đó } i = 1, \dots, 10 \quad (15)$$

Sau đó phương trình (14) được áp dụng riêng biệt cho mỗi giai đoạn s_i , các giá trị thông số Boltzmann K_i sẽ được xác định độc lập cho các giai đoạn tối ưu khác nhau. Cuối cùng, thông số Boltzmann có trọng số (K_w) được sử dụng trong tiêu chuẩn kiểm tra Metropolis ở giai đoạn tối ưu thứ j được tính toán theo giá trị K_i của tất cả các giai đoạn trước, bao gồm giai đoạn thứ j ($s_i, i = 1, \dots, j$).

$$K_w = \frac{\sum_{i=1}^j w_i K_i N_{ai}}{\sum_{i=1}^j w_i N_{ai}} \quad (16)$$

Trong đó w_i là trọng số của giai đoạn tối ưu thứ i , và được tính toán theo mô hình (CW) [5]. Trong mô hình này, ở giai đoạn thứ j của quá trình tối ưu, các trọng số của các giai đoạn s_i ($i \leq j$) được tính như sau:

$$w_i = \left[\frac{t_j^s \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j (t_k^s - t_k^f)}{t_i^s (t_i^s - t_i^f)} \right]^l \leq 1, \quad i = 1, \dots, j \quad (l \text{ có giá trị bằng 2 hoặc 4 [5]}) \quad (17)$$

Trong đó t_i^s và t_j^s lần lượt là nhiệt độ bắt đầu của các giai đoạn thứ s_i và s_j , tương tự t_i^f và t_j^f lần lượt là nhiệt độ cuối cùng của các giai đoạn thứ s_i và s_j .

4.6. Thông số Boltzmann tới hạn (Critical Boltzmann parameter)

Thông số Boltzmann tới hạn (K^*) được đề xuất bởi Hasacebi [5] để chấp nhận các thiết kế rất kém (inferior designs). Một thiết kế dự tuyển tạo ra một giá trị ΔW , giá trị này lớn hơn K^* thì được đặc trưng như là một thiết kế rất kém (inferior design), bị gán cho xác suất chấp nhận bằng 0 và không có được xử lý trong tiêu chuẩn kiểm tra Metropolis, ví dụ. $\forall D^a : \Delta W \geq K^* \Rightarrow P(D^a \rightarrow D^c) = 0$.

$$K^* = \begin{cases} \frac{W^* + hK_w N_{ai}}{1 + N_{ai}} & i = 1 \\ hK_w & i \neq 1 \end{cases} \quad (h \text{ là hằng số yếu (inferior constant)}) \quad (18)$$

Đối với giai đoạn đầu tiên S_1 , thông số Boltzmann tới hạn K^* được lấy bằng với giá trị hàm mục tiêu ràng buộc của thiết kế ban đầu trong quá trình thiết kế tối ưu, do đó ta có: $N_{a_1} = 0, K^* = W^*$.

4.7. Vòng lặp nội

Một bước lặp đơn của vòng lặp nội được hoàn thành khi tất cả các biến thiết kế đều được chọn duy nhất một lần và được sử dụng trong việc tạo ra một thiết kế dự tuyển. Trình tự của các biến kích thước và vị tương được xác định lại theo một cách pha trộn và ngẫu nhiên cho mỗi bước lặp. Số lượng bước lặp của vòng lặp nội được xác định theo [2].

$$I = \left[I^f + (I^f - I^s) \left(\frac{t - t^f}{t^f - t^s} \right) \right] \quad (19)$$

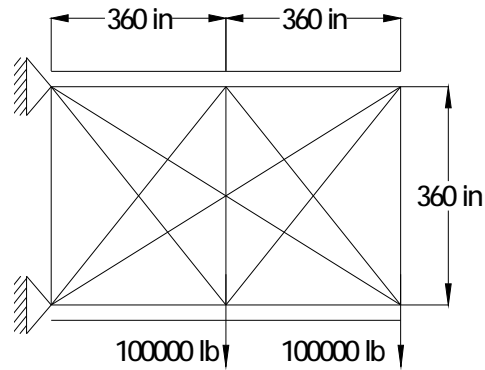
Trong đó I^s và I^f lần lượt là số lượng bước lặp của vòng lặp nội ở nhiệt độ bắt đầu (t^s) và nhiệt độ cuối cùng của (t^f) của quá trình tối ưu. Với giá trị của các thông số là $I^s = 1$ và $I^f \in [3,6]$, số lượng bước lặp (I) của vòng lặp nội ở mỗi nhiệt độ (t) được tính toán như trên và được làm tròn đến số nguyên gần nhất..

4.8. Phương pháp chọn thiết kế tốt nhất

Trong thuật giải SA luôn có khả năng một thiết kế tốt bị thay thế bởi một thiết kế không cải thiện. Điều này ngụ ý rằng không có một sự đảm bảo thiết kế hiện hành cuối cùng là một thiết kế tốt nhất được tìm thấy trong suốt quá trình tối ưu. Cho nên, cùng với các thiết kế hiện hành và các thiết kế dự tuyển, nó cần thiết phải tận dụng một thiết kế thứ ba là một thiết kế khả thi tốt nhất (D^b) đạt được trong suốt quá trình tối ưu và được lưu lại.

4.9. Ví dụ Bài toán 15 thanh dàn và 6 nút

Một bài toán với 6 nút thì có tất cả là 15 liên kết thanh có thể nối giữa các nút, kết cấu dàn ban đầu với 15 thanh, 6 nút (Chúng ta gọi là kết cấu nền) và chịu một trường hợp tải trọng được cho trong hình 3.



Hình. 3. Kết cấu nền với 15 thanh và 6 nút.

Với các thông số của bài toán được cho như sau:

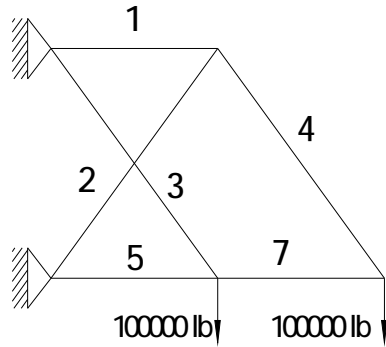
- Mô đun đàn hồi: $E = 104 \text{ ksi}$
- Trọng lượng riêng: $\rho = 0.1 \text{ lb/in}^3$
- Ứng suất nén cho phép: $\sigma_n = - 25 \text{ ksi}$
- Ứng suất kéo cho phép: $\sigma_k = 25 \text{ ksi}$
- Chuyển vị giới hạn: 2 in
- Các biến kích thước được chọn từ một tập hợp rời rạc của 30 diện tích mặt cắt thay đổi từ 1 in^2 đến 30 in^2 với bước tăng $\Delta = 1 \text{ in}^2$

Việc sử dụng giải thuật SA trong tối ưu kết cấu chịu ảnh hưởng của một tập hợp các thông số của thuật giải. Vì vậy sự thành công của thuật giải liên quan mật thiết đến sự lựa chọn thích hợp của tập hợp các thông số này. Đối với bài toán này các thông số của thuật giải được chọn như sau: $P^s = 0.5$, $P^f = 1 \times 10^{-7}$, $N_c = 300$, $I_s = 1$, $I_f = 3$, $d = 4$, $I = 2$ và $h = 4$.

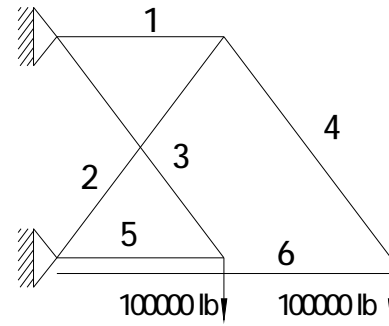
Bảng 1 thể hiện vị tương tốt nhất đạt được so sánh với các kết quả nghiên cứu trước.

Bảng 1. Các kết quả tối ưu vị tương cho bài toán 15 thanh dàn

Số hiệu thanh	Biến kích thước rời rạc $\Delta = 1 \text{ in}^2$		Biến kích thước liên tục (in^2)
	(Hajela và Lee, 1995)	kết quả hiện tại	(K. Deb và S. Gulati, 2001)
1	28	28	28.187
2	6	21	20.31
3	21	8	7.772
4	22	21	20.65
5	24	5	5.219
6	-	14	14.593
7	16	-	-
Trọng lượng lb	4942.7	4741.6	4731.650



Hình 4. Vị tướng tối ưu đạt được của Hajela và Lee



Hình 5. Vị tướng tối ưu đạt được của kết quả hiện tại và K. Deb và S. Gulati

5.KẾT LUẬN

Từ kết quả của bài báo chúng ta thấy chiến lược tìm kiếm dựa vào thuật giải mô phỏng luyện kim (Simulated annealing) để tối ưu đồng thời kích thước và vị tướng của kết cấu dàn phẳng là thành công và cho kết quả tương đối tốt so với các phương pháp khác. Chiến lược này đã kết hợp phương pháp hoàn lại thanh và loại bỏ thanh cùng với phương pháp hoàn lại nút và loại bỏ nút vào trong thuật giải để tạo ra các vị tướng khác nhau trong các thiết kế dự tuyển. Các phương pháp này đã thành công trong việc tạo ra các vị tướng mới được thử trong thuật giải. Mặt khác, bài toán tối ưu vị tướng kết cấu dàn là một bài toán tối ưu phức tạp có nhiều miền khả thi không liên tục, cho nên việc tìm ra điểm tối ưu toàn cục thì hết sức khó khăn. Nhưng thuật giải đã thành công nhờ vào việc sử dụng hai thông số bổ sung là “Thông số Boltzmann có trọng số” và “thông số Boltzmann tối hạn” [5], hai thông số này đóng vai trò chủ yếu trong việc thành công của thuật giải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Balling RJ. *Optimal steel frame design by simulated annealing*. J Struct Engng. 117(6), 1780–1795 (1991).
- [2]. Bennage WA, Dhingra AK. *Single and multiobjective structural optimization in discrete-continuous variables using simulated annealing*. Int J Numer Meth Engng. 38, 2553–73 (1995).
- [3]. Deb K, Gulati S. *Design of truss-structures for minimum weight using genetic algorithms*. Finite Elements in Analysis and Design. 37, 447-465 (2001).
- [4]. Hajela P, Lee E. *Genetic algorithms in truss topological optimization*. Int. J. Solids Struct. 32, 3341-3357 (1995).
- [5]. Hasancebi O, Erbatur F. *On efficient use of SA in complex structural optimisation problems*. Acta Mechanica. 157, 27–50 (2002).
- [6]. Hasancebi O, Erbatur F. *Layout optimization of trusses using simulated annealing*. Adv. Eng. Softw. 33, 681–696 (2002).
- [7]. Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP. *Optimization by simulated annealing*. Science. 220(4598), 671–80 (1983).
- [8]. Ringertz UT. *On topology optimization of trusses*. Eng. Opt. 9, 209-218 (1985).