Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.22, S.4(2006), 319–324

MÔ HÌNH KẾT HỢP THUẬT TOÁN GEN VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐƠN HÌNH ỨNG DỤNG TRONG BÀI TOÁN CỰC TIỂU HÓA CHI PHÍ SẢN XUẤT

PHAN THỊ HOÀI PHƯƠNG[1], NGUYỄN MINH HẰNG[2]

[1] *Học viện Công nghệ Bưu chính-Viễn thông*
[2] *Trung tâm tính toán - Viện hàn lâm khoa học Liên bang Nga*

Abstract. The application of Genetic Algorithm (GA) to the production planning problems has long attracted the interest of many researchers. In this paper a hybrid model combining GA and simplex method (SM) to solve a production material expense minimizing problem is proposed. The paper is composed of three parts; in the first part, we informally describe the production problem of the enterprises producing steel pipe; in the second part, a formal statement of the problem is given together with it's solving algorithm based on the hybrid of GA and SM in which GA is applied to search space that is the linear programming problems space; the last one presents the application results and conclusion.

Tóm tắt. Việc áp dụng thuật toán gen trong bài toán lập kế hoạch sản xuất từ lâu đã thu hút được sự quan tâm của nhiều tác giả. Bài báo này đề xuất một mô hình lai ghép giữa thuật toán gen (GA) và phương pháp đơn hình (SM) để giải bài toán tối ưu chi phí vật tư sản xuất. Bài báo được chia làm 3 Mục . Phần đầu mô tả không hình thức bài toán sản xuất của nhà máy sản xuất ống thép; Mục thứ hai hình thức hóa bài toán và đề xuất thuật toán giải dựa trên sự lai ghép giữa GA và SM, trong đó GA được áp dụng trên không gian tìm kiếm là không gian các bài toán quy hoạch tuyến tính; phần thứ ba gồm kết quả ứng dụng thực tế và kết luận.

1. PHÁT BIỂU BÀI TOÁN KHÔNG HÌNH THỨC

Để sản xuất các loại ống thép đáp ứng nhu cầu phát triển của xã hội, các nhà máy sản xuất ống thép dùng nguyên liệu đầu vào là tôn cuộn nhập khẩu. Tôn cuộn có các thông số đặc trưng là độ dày, chiều rộng và độ dài (nếu cùng độ dày và chiều rộng thì độ dài tỷ lệ thuận với khối lượng nên trong thực tế người ta hay dùng đơn vị khối lượng thay cho độ dài trong trao đổi, mua bán). Về chiều rộng, cuộn tôn có các kích thước tiêu chuẩn khác nhau: 1000mm, 1200mm, 1300mm, 1400mm... phụ thuộc vào độ dày và đường kính ống, mỗi loại ống thép đòi hỏi một dải tôn có chiều rộng xác định được cắt ra từ các cuộn tôn có cùng độ dày bằng máy cắt. Ví dụ ống dày 1.5mm, đường kính 20mm đòi hỏi chiều rộng dải tôn tương ứng là 36.5mm cắt từ loại tôn 1.5mm. Loại ống nhỏ nhất được sản xuất có đường kính 15mm. Như vậy từ một cuộn tôn ta có thể cắt thành nhiều dải có chiều rộng khác nhau để sản xuất các loại ống đường kính khác nhau và có cùng độ dày. Số lượng các phép cắt có thể trên cuộn tôn là số tổ hợp của các chiều rộng các dải tôn khác nhau với tổng chiều rộng không vượt quá kích thước chuẩn của cuộn tôn. Thường tổng các chiều rộng này không trùng với chính kích thước chuẩn đó, tức là luôn luôn có một phần tôn trở thành phế thải.

Vấn đề đặt ra có tính cấp thiết đối với nhà sản xuất là hạn chế tối đa lượng phế thải nói trên và cực tiểu hóa lượng vật tư đòi hỏi đưa vào sản xuất đáp ứng kế hoạch. Đây cũng chính là mục tiêu đặt ra của bài báo.

2. HÌNH THỨC HÓA BÀI TOÁN VÀ THUẬT TOÁN GIẢI

Có nhiều đề xuất kết hợp các phương pháp hình thức với các phương pháp heuristic để giải quyết một số bài toán phức tạp trong thực tế. Trong [1], tác giả đã sử dụng việc lai ghép giữa thuật toán gen và phương pháp đơn hình để tìm giải pháp giải bài toán bảo đảm luồng cung cấp dầu thô ổn định cho nhà máy lọc dầu. Luồng dầu thô được xác định bởi công suất các máy bơm từ các bể chứa của giếng khoan. Việc điều khiển công suất của các máy bơm khác nhau được thực hiện theo hai bước: bước một lựa chọn máy bơm để điều khiển bằng thuật toán gen, bước hai xác định công suất của các máy bơm được lựa chọn dựa trên phương pháp đơn hình. Trong [2], mô hình lai ghép giữa thuật toán gen và qui hoạch tuyến tính được sử dụng để giải quyết bài toán phân công lao động với chi phí tối thiểu. Trong phần sau chúng ta sẽ trình bày phương pháp lai ghép giữa hai công cụ là thuật toán gen và phương pháp đơn hình để giải quyết bài toán đặt ra trong Mục 1.

2.1. Hình thức hóa bài toán

Ta gọi N là số loại ống thép có thể được sản xuất. Với mỗi loại ống $i = 1, N$ ta có một bề rộng dải tôn để sản xuất tương ứng là w_i. Vectơ $W = (w_1, ..., w_N)$ là vectơ lưu trữ bề rộng các dải tôn tương ứng với các loại ống khác nhau. Gọi $w_{\min}$ là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị $w_i, i = 1, N$, $w_{\min}$ chính là bề rộng dải tôn để sản xuất loại ống thép có đường kính nhỏ nhất. Theo mỗi chu kỳ kế hoạch quy định trước (tháng, quý...) nhà máy có kế hoạch sản xuất k_i tấn sản phẩm ống thép loại i. Vectơ $K = (k_1, ..., k_N)$ thể hiện khối lượng tấn cần sản xuất cho từng loại ống thép và được gọi là kế hoạch sản xuất của nhà máy trong chu kỳ kế hoạch. $k_i = 0$ có nghĩa là loại ống thép i không được sản xuất theo kế hoạch đặt ra.

Giả thiết rằng có M loại cuộn tôn khác nhau (tức là kích thước chuẩn khác nhau). Với mỗi loại cuộn tôn $j = 1, M$, ta ký hiệu R_j và T_j tương ứng là chiều rộng chuẩn và khối lượng đưa vào sản xuất của loại cuộn tôn j.

Với mỗi loại cuộn tôn j đưa vào sản xuất, ta có thể có nhiều cách cắt tôn thành các dải tôn đáp ứng nhu cầu sản xuất các loại ống thép khác nhau. Ký hiệu α_{ji} là số lượng dải tôn được cắt trên loại tôn j để sản xuất loại ống thép i. Vectơ $\alpha_j = (\alpha_{j1}, ..., \alpha_{jN})$ được gọi là một phương án cắt trên loại cuộn tôn j. $\alpha_{ji} = 0$ có nghĩa không cắt dải tôn cho loại ống thép i trên loại cuộn tôn j.

Định nghĩa 1. Một phương án cắt α_j gọi là chấp nhận được nếu tổng bề rộng các dải tôn không lớn hơn chiều rộng cuộn tôn và phần phế thải có bề rộng nhỏ hơn $w_{\min}$:

$$\alpha_j.W' + w_{\min} > R_j \geqslant \alpha_j.W' \tag{1}$$

ở đây W' là vectơ chuyển vị của W. Ta ký hiệu tập tất cả các phương án cắt chấp nhận được đối với loại cuộn tôn j là Γ^j.

Với mỗi phương án cắt chấp nhận được α_j của loại cuộn tôn j ta lập vectơ N chiều $S = (s_{j1}, ..., s_{jN})$, trong đó s_{ji} được xác định như sau:

$$s_{ji} = \alpha_{ji}.w_i/R_j, \ i = 1, N \tag{2}$$

Như vậy với mỗi khối lượng T_j của loại cuộn tôn j được đưa vào sản xuất và một phương án cắt α_j ta sẽ có được một vectơ sản phẩm tương ứng là $K_j = T_j.S_j$. Thành phần thứ i, $k_{ji} = T_j.s_{ji}$ của K_j là khối lượng ống thép loại i được sản xuất theo phương án cắt α_j với khối lượng loại cuộn tôn j đưa vào sản xuất là T_j.

Nhà máy sẽ hoàn thành kế hoạch nếu như với những phương án cắt cho từng loại cuộn tôn và với khối lượng tôn đủ cho sản xuất, bất đẳng thức sau là đúng:

$$\sum_{j=1}^{M} K_j = \sum_{j=1}^{M} T_j S_j \geqslant K. \tag{3}$$

Nhận xét rằng khi đã lựa chọn phương án cắt cho các loại cuộn tôn thì trong (3), vectơ S_j được xác định bởi công thức (2) trở thành vectơ hằng. Như vậy (3) là hệ bất đẳng thức tuyến tính với các biến số là $T_j,\ j = 1, M$.

Khi giả thiết rằng khối lượng của từng loại cuộn tôn là không hạn chế, việc tồn tại nghiệm của bất đẳng thức (3) chỉ còn phụ thuộc vào chính các phương án cắt được lựa chọn. Sau đây chúng ta sẽ đưa ra điều kiện cần và đủ để (3) xảy ra.

Định nghĩa 2. Ta gọi vectơ thông tin kế hoạch sản xuất là vectơ N chiều $C = (c_1, ..., c_N)$ với $c_i = 1$ nếu loại ống thứ i có trong kế hoạch sản suất và $c_i = 0$ nếu ngược lại.

Định nghĩa 3. Cho 2 vectơ A và B cùng số chiều là N. Vectơ A được gọi là phủ của vectơ B nếu và chỉ nếu mọi thành phần của vectơ A đều không nhỏ hơn thành phần tương ứng của vectơ $B : a_i \geqslant b, i = 1, N$.

Mệnh đề 1. *Với khối lượng không hạn chế của từng loại cuộn tôn, nhà máy có thể hoàn thành kế hoạch khi và chỉ khi tổng của các vectơ phương án cắt α_j là phủ của vectơ thông tin kế hoạch sản xuất C. Nói cách khác, hệ bất đẳng thức (3) với các T_j vô hạn thỏa mãn khi và chỉ khi:*

$$\sum_{j=1}^{M} \alpha_j \geqslant C. \tag{4}$$

Chứng minh. Giả sử bất đẳng thức (4) thỏa mãn và các T_j vô hạn. Điều đó có nghĩa nếu như $c_j > 0$ (tức là việc sản xuất loại ống thép i nằm trong kế hoạch) thì tồn tại ít nhất một phương án cắt α_j có α_{ji} là một số nguyên lớn hơn 0. Với phương án cắt này ta có thể chọn T_j đủ lớn để có $T_j.s_{ji} \geqslant k_i$, trong đó s_{ji} được xác định bởi (2). Lập luận đúng với mọi $i = 1, N$. Từ đó suy ra (3) thỏa mãn.

Ngược lại giả sử (3) thỏa mãn nhưng (4) không thỏa mãn. Khi đó sẽ tồn tại ít nhất một $c_i = 1$ (tức là $k_i > 0$) và $\alpha_{ji} = 0$ với mọi $j = 1, M$. Điều đó có nghĩa trong mọi phương án cắt cho các loại cuộn tôn đều không có dải tôn nào để sản xuất loại ống thép i. Như vậy $s_{ji} = 0$ với mọi $j = 1, M$ theo cách tính trong (2). Từ đó bất đẳng thức $\sum\limits_{j=1}^{M} T_j s_{ji} \geqslant k$ không thể xảy ra, tức là (3) không xảy ra và điều đó mâu thuẫn với giả thiết. Mệnh đề được chứng minh.■

Theo mệnh đề trên, một câu hỏi đặt ra là liệu có phải lúc nào cũng tồn tại các phương án cắt cho các loại cuộn tôn khác nhau thỏa mãn (4)? Điều này về mặt lý thuyết là không đúng nếu số lượng loại ống thép cần sản xuất N khá lớn khi so sánh với M. Tuy nhiên rất may rằng trong thực tế sản xuất, với mỗi độ dày khác nhau chúng ta chỉ có thể sản xuất được một số lượng tương đối nhỏ (10-15 loại) các loại ống có đường kính khác nhau. Bởi vậy trên mỗi loại cuộn tôn ta có thể đưa ra phương án cắt cho đồng thời cho tất cả các loại ống. Thực tế này đảm bảo bất đẳng thức (4) luôn luôn có lời giải. Nói cách khác nhà máy luôn có thể hoàn thành mọi kế hoạch đề ra.

Từ những lập luận kể trên, chúng ta thấy rằng để giải quyết được bài toán đặt ra trong Mục 1 cần giải quyết hai bài toán thành phần:

1. Tìm tập các phương án cắt chấp nhận được $\alpha_j,\ j = \overline{1, M}$ thỏa mãn (4).
2. Giải bài toán quy hoạch tuyến tính sau với các α_j đã tìm được

$$\sum_{j=1}^{M} T_j \to \min \tag{5}$$

trên miền ràng buộc $\sum\limits_{j=1}^{M} T_j S_j \geqslant K.$ (6)

Nghiệm của bài toán (5)-(6) chính là chi phí vật tư cực tiểu bảo đảm để nhà máy hoàn thành kế hoạch với các phương án cắt đã được lựa chọn cho từng loại cuộn tôn.

Việc giải bài toán thứ nhất có độ phức tạp tính toán lớn. Thứ nhất là độ phức tạp tổ hợp liên quan đến xây dựng các phương án cắt chấp nhận được - tức là các phương án cắt thỏa (1) đối với từng loại cuộn tôn. Thứ hai là lựa chọn trong mỗi tập các phương án chấp nhận được cho từng loại cuộn tôn một đại diện tham gia tạo nên vectơ phủ trong vế trái của (4).

Việc giải bài toán thứ hai nhằm đạt được mục đích hoàn thành kế hoạch sản xuất với lượng vật tư tối thiểu, tránh hiện tượng tồn kho sản phẩm quá hạn mức làm kéo dài thời gian quay vòng vốn và tăng chi phí bảo quản.

Chúng ta cũng thấy rằng việc giải quyết bài toán thứ nhất chính là việc tìm kiếm các tham số để hình thành bài toán thứ hai. Vì vậy có thể coi việc giải bài toán thứ nhất là việc tìm kiếm phát biểu cho bài toán thứ hai.

Bài toán (5)-(6) hoàn toàn được xác định bởi bộ vectơ $\alpha = (\alpha_1, ..., \alpha_M)$. Với mỗi bộ α thỏa mãn (4), bài toán (5)-(6) sẽ cho chúng ta một lựa chọn phương án thực hiện kế hoạch. Ở đây chúng ta hạn chế chỉ xét các bộ α với $\alpha_j \in \Gamma^j$. Như vậy không gian các bài toán (5)-(6) chúng ta quan tâm sẽ là một tập con thỏa mãn (4) của tích đề các $\Gamma = \Pi_{j=1}^{M}\Gamma^j$. Mục đích của chúng ta là tìm ra trên tích đề các Γ phần tử α thỏa mãn (4) mà bài toán (5)-(6) tương ứng cho ta phương án thực hiện kế hoạch một cách "tối ưu".

Với cách phân tích bài toán như trên, phần tiếp theo sẽ trình bày đề xuất việc ứng dụng đồng thời GA và SM để giải quyết bài toán tối ưu đặt ra.

2.2. Mô hình thuật toán lai ghép giữa GA và SM

Để thuận tiện cho việc trình bày thuật toán, chúng ta đưa thêm một số khái niệm sau.

Lập vectơ $\overline{K}$ với các thành phần $\overline{k}_i = k_i / \sum\limits_{t=1}^{N} k_t$ từ các thành phần của vectơ kế hoạch sản xuất K. Vectơ $\overline{K}$ được gọi là vectơ cơ cấu kế hoạch.

Với mỗi phương án cắt chấp nhận được $\alpha_j \in \Gamma_j$, ta đánh giá mức độ tương thích của nó so với kế hoạch bằng khoảng cách Ơcơlit $d(\alpha_j, K) = d(S_j, \overline{K})$ với S_j là vectơ được tính từ α_j theo công thức (2). Khoảng cách càng nhỏ thì mức độ tương thích của phương án cắt so với kế hoạch càng lớn. Ý tưởng của thuật toán là chọn ra những phương án cắt tương thích nhất với kế hoạch sản xuất dựa trên khoảng cách $d(\alpha_j, K)$.

Mặc dù việc xây dựng tập các phương án cắt chấp nhận được Γ^j cho mỗi loại cuộn tôn j có độ phức tạp lớn, nhưng trong bài toán thực tế kích thước cuộn tôn cũng như bề rộng các dải tôn là cố định, số lượng các loại ống là nhỏ nên ta có thể thực hiện việc xây dựng này một lần. Sau khi đã xây dựng xong, Γ^j đóng vai trò bảng danh mục tra cứu cố định nên không làm tăng độ phức tạp của thuật toán được đề xuất.

Sau đây là nội dung chính của thuật toán.

Thuật toán

Bước 0. Như trong Mục 2.1 đã chỉ ra, bài toán (5)-(6) hoàn toàn được xác định bởi vectơ α thỏa mãn (4). Vì vậy chúng ta dùng chính vectơ này làm nhiễm sắc thể biểu diễn cho mỗi cá thể có dạng phát biểu như bài toán (5)-(6).

Bước 1. Tạo một quần thể xuất phát gồm Q cá thể $\alpha \in \Gamma$ thỏa mãn (4). Việc này có thể thực hiện được một cách dễ dàng bằng việc chọn các α_j ban đầu là các phương án cắt tất cả các dải tôn để sản xuất mọi loại ống thép trên cùng một cuộn tôn. Với các phương án được lựa chọn như vậy, các cá thể trong Q đều thỏa mãn (4).

Bước 2. Đánh giá mức độ thích nghi của mỗi cá thể trong quần thể bằng cách giải các bài toán (5)-(6) tương ứng với mỗi cá thể. Cá thể nào cho giá trị của hàm mục tiêu (5) càng nhỏ thì mức độ thích nghi càng lớn.

Bước 3. Tạo quần thể mới bằng việc lặp lại các toán tử gen sau đây đến khi quần thể mới hoàn thiện:

a. Chọn lọc: Chọn ra 2 cá thể cha từ quần thể theo mức độ thích nghi của cá thể. Các cá thể có độ thích nghi cao sẽ được ưu tiên lựa chọn trước.

b. Hôn phối: Ở đây ta mô tả hôn phối tại 1 điểm. Việc cho hôn phối tại nhiều điểm sẽ là mở rộng tầm thường của hôn phối tại một điểm.

Giả sử 2 cá thể cha được lựa chọn là $\alpha = (\alpha_1, ..., \alpha_j, .., \alpha_M)$ và $\alpha' = (\alpha'_1, ..., \alpha'_j, .., \alpha'_M)$. Tại điểm j ta đổi chỗ α_j với α'_j trong hai cá thể cha α và α' để nhận được các hậu bối. Kiểm tra tính đúng đắn của (4) đối với các cá thể hậu bối. Nếu không có cá thể hậu bối nào để điều kiện (4) là đúng thì hậu bối sẽ là bản sao chính xác của cha.

c. Đột biến: Đối với cá thể cha $\alpha = (\alpha_1, ..., \alpha_j, .., \alpha_M)$ ta gây đột biến tại vị trí j bằng việc thay thế α_j bởi $\alpha'_j \in \Gamma^j$ với điều kiện $d(\alpha'_j, K) \leqslant d(\alpha_j, K)$ để nhận được cá thể hậu bối mới. Nếu cá thể này không thỏa mãn (4) thì chọn hậu bối là bản sao chính xác của cá thể cha.

d. Tạo quần thể mới: Từ các hậu bối nhận được bằng việc áp dụng các toán tử gen *a-c* ta lựa chọn Q cá thể có mức độ thích nghi lớn nhất để tạo nên quần thể mới.

Bước 4. Nếu quần thể mới trùng với quần thể cũ, thuật toán dừng và cho ra kết quả là cá thể thích nghi nhất α trong Q cùng với các khối lượng T_j làm cực tiểu hàm mục tiêu của bài toán (5)-(6) tương ứng với nó để đưa vào sản xuất. Ngược lại, thuật toán quay về Bước 3.

3. KẾT LUẬN

Thuật toán trên được triển khai áp dụng cho nhà máy sản xuất ống thép Việt- Đức trong hơn một năm qua.

Để đánh giá hiệu quả của thuật toán, chúng tôi dùng cách so sánh hai chỉ số sau trên các số liệu thực của nhà máy khi chưa áp dụng thuật toán và các số liệu thu được sau khi thuật toán được áp dụng.

Chỉ số thứ nhất là tỷ số giữa lượng phế liệu và tổng khối lượng ống thép thành phẩm các loại được sản xuất theo kế hoạch.

Chỉ số thứ hai là tỷ số giữa tổng sản phẩm tồn kho từng kỳ và tổng sản phẩm được sản xuất theo kế hoạch của kỳ.

Đối với chỉ số thứ nhất: khi chưa áp dụng thuật toán là xấp xỉ 3% so với 1% sau khi áp dụng thuật toán.

Đối với chỉ số thứ hai: khi chưa áp dụng thuật toán là 9% so với 4% sau khi áp dụng thuật toán.

Như vậy lượng phế thải giảm 2/3 và lượng tồn kho giảm hơn một nửa từ khi thuật toán được áp dụng so với trước đó. Với năng lực sản xuất 70000 tấn/năm việc áp dụng thuật toán đã tiết kiệm cho nhà máy mỗi năm hơn 1000 tấn vật tư.

Với kết quả kiểm chứng kể trên, rõ ràng việc áp dụng thuật toán đã mang lại những lợi ích đáng kể cho nhà máy.

Thuật toán có thể được cải biên để áp dụng cho những bài toán tương tự trong các lĩnh vực khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Adriano C. Silva, Using genetic algorithm and simplex method to stabilize an oil treatment plant inlet flow, *The International Pipeline Conference*, Calgary, Alberta, Canada, October 1-5, 2000.

[2] Harald Feltl and Gunther R. Raidl, "An improved hybrid genetic algorithm for the generalized assignment problem", Institute of Computer Graphics and Algorithms Vienna University of Technology, Vienna, Austria, SAC '04, Nicosia, Cyprus, March 14-17, 2004.

Nhận bài ngày 13 - 10 - 2005