

## Bài báo nghiên cứu

# ĐỀ XUẤT GIẢI THUẬT TỐI ƯU BẦY ĐÀN CÓ XÉT ĐẾN TRỌNG SỐ KHỐI LƯỢNG ĐỂ PHÂN BỐ TẢI KINH TẾ TRONG THỊ TRƯỜNG ĐIỆN

Lê Chí Kiên<sup>1</sup>, Phan Minh Tân<sup>2</sup>, Nguyễn Trung Thắng<sup>2</sup>, Hoàng Đỗ Ngọc Trâm<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ: Hoàng Đỗ Ngọc Trâm – Email: [tramnhd@hcmue.edu.vn](mailto:tramnhd@hcmue.edu.vn)

Ngày nhận bài: 10-8-2021; ngày nhận bài sửa: 10-12-2021; ngày duyệt đăng: 14-12-2021

## TÓM TẮT

Bài báo đề xuất giải thuật tối ưu bầy đàn có xét đến trọng số khối lượng để giải bài toán điều phối tải kinh tế trong thị trường điện cạnh tranh. Giải thuật tối ưu bầy đàn cải tiến này đưa thêm trọng số khối lượng của cá thể vào công thức vận tốc ban đầu của cá thể để cân bằng giữa tìm kiếm toàn cục và địa phương. Kết quả cho thấy, khi số vòng lặp lớn nhất có giá trị từ 50 trở lên thì hàm mục tiêu của giải thuật bầy đàn cổ điển chưa tìm được giá trị cực đại, vẫn còn dao động và chưa ổn định, trong khi giải thuật đề xuất đã ổn định, không dao động. Điều này cho thấy khả năng tin cậy cao khi tìm kiếm của giải thuật đề xuất so với giải thuật cổ điển. Ngoài ra, khả năng tìm kiếm nghiệm tối ưu của giải thuật đề xuất cũng vượt trội so với các giải thuật khác, đồng thời độ lệch chuẩn và số lần tạo nghiệm mới nhỏ hơn so với các nghiên cứu trước. Với kết quả này, giải thuật đề xuất đã đóng góp một kỹ thuật tối ưu hóa rất tốt cho bài toán phân bố tải kinh tế trong thị trường điện cạnh tranh.

**Từ khóa:** phân bố tải kinh tế; trọng số khối lượng; giải thuật bầy đàn; tổng lợi nhuận

## 1. Giới thiệu

Trong thị trường điện cạnh tranh, những ràng buộc về lập kế hoạch mới được hình thành để các công ty điện lực sử dụng các quy tắc chọn được công suất phát của các tổ máy truyền tải đem lại lợi nhuận cao nhất. Ngoài ra, ngành điện hình thành thị trường hoàn thiện thì dự trữ công suất giữ vai trò quan trọng trong việc định giá và nâng cao hiệu suất hoạt động của hệ thống.

---

*Cite this article as:* Le Chi Kien, Phan Minh Tan, Nguyen Trung Thang, & Hoang Do Ngoc Tram (2021). Propose a particle swarm optimization algorithm with inertia weight to solve the economic load dispatch problem in the electric market. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 18(12), 2243-2254.

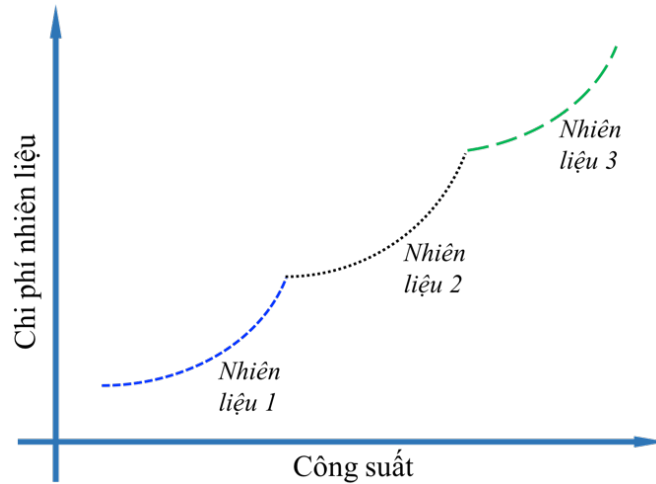
Để tạo ra điện cung cấp đủ cho nhu cầu phụ tải của các hộ gia đình và khu công nghiệp, các nhà máy nhiệt điện độc lập phải tốn các chi phí khác nhau. Chúng bao gồm chi phí vận hành, quản lý và chi phí mua nhiên liệu trong đó chi phí nhiên liệu được coi là phần quan trọng nhất. Vì lý do này, việc giảm chi phí nhiên liệu nhiều nhất có thể là một nhiệm vụ chính của quá trình vận hành kinh tế-kỹ thuật các nhà máy điện. Công việc này chính là một phần trong bài toán phân bố tải kinh tế (Economic Load Dispatch – ELD). Bài toán ELD là bài toán cần xác định công suất phát điện phù hợp nhất cho từng tổ máy phát điện để cung cấp cho phụ tải và đồng thời thỏa các ràng buộc của hệ thống. Khi có được công suất phát điện phù hợp nhất và đáp ứng được các ràng buộc thì tổng chi phí sản xuất điện của các tổ máy phát điện phụ thuộc vào khả năng của các giải thuật tối ưu hóa được áp dụng. Các nghiên cứu về bài toán ELD đã áp dụng các giải thuật tối ưu hóa khác nhau (Dey, 2014; Gachhayat et al., 2017; Khamsen et al. 2020). Qua tìm hiểu ứng dụng của các giải thuật, có thể thấy rằng bài toán ELD đã được đề cập khá nhiều trong thị trường điện. Trong trường hợp này, các công ty tập trung vào việc cung cấp năng lượng điện được tạo ra với tổng chi phí ít nhất. Cùng với xu hướng hội nhập toàn cầu, các công ty điện lực thuộc quyền quản lý của chính phủ nên được đổi thành một công ty tư nhân để tăng cường khả năng cạnh tranh hiệu quả hơn (Orike, 2013). Do đó, bài toán ELD liên quan đến môi trường cạnh tranh đang trở thành một vấn đề đáng quan tâm. Bởi vì, nó thúc đẩy sự đổi mới trong vận hành hệ thống điện, lập kế hoạch, kiểm soát cũng như cải thiện chất lượng dịch vụ và khả năng cạnh tranh của nhà cung cấp điện. Trong môi trường cạnh tranh, nhiệm vụ cốt lõi của bài toán ELD là xác định công suất tối ưu của máy phát điện để có được tổng lợi nhuận nhiều nhất có thể cho các công ty sản xuất nhưng không vi phạm các ràng buộc như công suất tác dụng yêu cầu của tải, dự trữ công suất tác dụng, giới hạn phát điện của máy phát và giới hạn dự trữ (Vo et al. 2012). Bài toán này cũng đã nhận được sự quan tâm của các chuyên gia và các nhà khoa học (Singhal et al., 2015; Krishna et al., 2016; Srikanth et al., 2019; Sudhakar et al., 2018) với các ứng dụng của các thuật toán khác nhau.

## **2. Nội dung**

### **2.1. Bài toán điều độ tải kinh tế trong thị trường điện**

Điều độ tải kinh tế là một trong những bài toán quan trọng trong hệ thống điện do những đóng góp nâng cao lợi nhuận và hoạt động ổn định hệ thống điện. Bài toán ELD được hình thành bởi mục tiêu giảm thiểu chi phí nhiên liệu đồng thời thỏa nhiều ràng buộc liên quan đến các tổ máy phát nhiệt điện và trong hệ thống điện. Mô hình toán học của bài toán ELD được xây dựng đầu tiên đã bỏ qua tổn thất điện năng do ảnh hưởng của điện trở và điện kháng trên đường dây truyền tải. Nhưng một vài nghiên cứu gần đây về bài toán ELD đã tính đến việc mất điện chủ động, các hiệu ứng van và các ràng buộc phức tạp của các tổ máy phát nhiệt điện như vùng làm việc bị giới hạn, giới hạn công suất phát điện. Các bài toán này đã được giải quyết được các vấn đề trên bằng cách áp dụng các giải thuật có khả năng tối ưu hóa tốt. Ngoài ra, các hàm không liên tục như hàm đa nhiên liệu và hàm chi phí nhiên liệu

có xét hiệu ứng xả van trên các nhà máy phát nhiệt điện đã được đưa vào hàm chi phí nhiên liệu. Các thách thức đã hình thành những khó khăn lớn cho các thuật toán tối ưu hóa và các thuật toán không hiệu quả không thể đạt được giải pháp tối ưu toàn cục.



**Hình 1.** Đồ thị hàm chi phí đa nhiên liệu

Dựa trên thị trường điện cạnh tranh, nghiên cứu trước đó đã thiết lập hàm tổng doanh thu, hàm tổng chi phí nhiên liệu và hàm tổng lợi nhuận cho hai trường hợp khác nhau bao gồm thanh toán cho điện được giao và thanh toán cho dự trữ được phân bổ. Kết quả là, bài toán thị trường dự trữ đã được xây dựng một cách toán học và sau đó công thức này đã được áp dụng cho bài ELD trong thị trường điện (Yoshida et al., 2000). Bài toán lựa chọn tắt mở các tổ máy cũng là một bài toán phân bổ tải kinh tế với việc xem xét tình trạng hoạt động của các tổ máy phát nhiệt điện có sẵn và chi phí khởi động của các tổ máy. Sự kết hợp của tình trạng hoạt động các tổ máy được giải quyết trong nghiên cứu của Dubey et al., 2019. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã giảm mức độ phức tạp của nghiên cứu bằng cách giả sử rằng tất cả các tổ máy phát nhiệt có sẵn đang hoạt động. Vì vậy, tình trạng hoạt động và chi phí khởi động của các tổ máy phát bị bỏ qua, và việc xây dựng bài toán được thiết lập bằng cách sử dụng các nghiên cứu trước đây về thị trường điện cạnh tranh trong bài toán truyền tải kinh tế.

Theo truyền thống, hàm chi phí nhiên liệu của tổ máy nhiệt điện được biểu diễn xấp xỉ dưới dạng một đường cong bậc hai. Trong một nhà máy thì gồm có nhiều tổ máy nên việc tối ưu bài toán ELD là chúng ta đi xác định giá trị công suất phát của các tổ máy sao cho tổng chi phí của nhà máy là nhỏ nhất đồng thời phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc của máy phát và các ràng buộc khác.

Ngoài các mục tiêu trên thì bài toán ELD này cũng có xét đến trường hợp một tổ máy sử dụng nhiều nhiên liệu khác nhau dẫn đến hàm chi phí của nó cũng gồm nhiều đường cong kết hợp lại như Hình 1. Bài toán ELD lúc này lại khó khăn trong việc xác định chi phí nhiên liệu do mỗi loại nhiên liệu có một hàm khác nhau mỗi tổ máy lại khác nhau nên đây cũng là một dạng khó của bài toán ELD.

## 2.2. Hàm mục tiêu

Bài toán ELD trong thị trường điện thì cực đại tổng lợi nhuận là một trong những mục tiêu quan trọng nhất. Hàm mục tiêu cho bài toán phân bổ tải kinh tế khi xem xét thị trường điện cạnh tranh được trình bày như bên dưới.

$$\text{Maximum TPF} = \text{TR} - \text{TFC} \quad (1)$$

Trong đó

TPF: tổng lợi nhuận thu được

TR: tổng doanh thu

TFC: tổng chi phí nhiên liệu

### 2.2.1. Tổng doanh thu

Tổng doanh thu là tổng số tiền thu được mà chưa tính đến chi phí nhiên liệu. Mô hình doanh thu xét trong nghiên cứu này là người mua chỉ hợp đồng xác định công suất lớn nhất có thể mua và giá của nó. Để đảm bảo tính ổn định cho hệ thống, nhà máy vẫn phải dự trữ một lượng công suất cho trường hợp khách hàng sử dụng vượt quá hợp đồng. Vì khách hàng dùng lố nên giá trả cho lượng dự trữ điện này đắt hơn giá hợp đồng mua công suất rất nhiều. Để có mô hình toán cho vấn đề này thì cần phải đưa ra một hệ số xác suất  $\omega$  cho biết xác suất lượng dự trữ được sử dụng.

$$\text{TR} = \text{FSB} \sum_{k=1}^N P_k + \omega \text{FRP} \sum_{k=1}^N \text{RP}_k \quad (2)$$

Trong đó

FSP: giá cho công suất phát

FRP: giá cho công suất dự trữ

$P_k$ : công suất phát của các tổ máy thứ k

$\text{RP}_k$ : công suất phát dự trữ của các tổ máy thứ k

N: số tổ máy phát

### 2.2.2. Tổng chi phí nhiên liệu

Khi xét đến ảnh hưởng của thị trường điện thì hàm mục tiêu mới cho ELD có thêm phần công suất dự trữ của các tổ máy thứ k

$$\text{FC}_k(P_k + \text{RP}_k) = C1_k + C2_k(P_k + \text{RP}_k) + C3_k(P_k + \text{RP}_k)^2 \quad (3)$$

Trong đó

$\text{FC}_k$ : là chi phí nhiên liệu của tổ máy thứ k

$C1_k, C2_k, C3_k$ : là các hệ số của hàm chi phí nhà máy nhiệt điện

Nhưng chi phí này có tác động bởi xác suất khách hàng sử dụng lượng dự trữ nên công thức để tính tổng chi phí nhiên liệu được viết lại như bên dưới.

$$\text{TFC}_k = (1 - \omega) \sum_{k=1}^N \text{FC}_k(P_k) + \omega \sum_{k=1}^N \text{FC}_k(P_k + \text{RP}_k) \quad (4)$$

### 2.2.3. Các điều kiện ràng buộc

Giống như bài toán ELD và các bài toán tối ưu nói chung, luôn luôn có các ràng buộc cần phải thỏa mãn. Khi giải bài toán ELD trong môi trường thị trường cạnh tranh không những có những ràng buộc cũ của bài toán ELD mà còn có các ràng buộc riêng của thị trường điện. Khi có thêm ảnh hưởng của các yếu tố trong thị trường điện ta có các ràng buộc của bài toán như sau.

- **Ràng buộc công suất yêu cầu**

Về cơ bản, bài toán ELD là về việc xác định sản lượng điện của tất cả các nhà máy nhiệt để giảm thiểu tổng chi phí của các nhà máy này. Ràng buộc cân bằng công suất trong bài toán là về tổng công suất phát phải bằng tổn thất điện năng và công suất tải yêu cầu. Độ ổn định tần số thực sự quan trọng trong các mạng điện áp cao vì hệ thống điện có thể hoạt động ổn định nếu xảy ra dao động tần số. Do đó, trong bài toán điều phối tải kinh tế truyền thống, cân bằng công suất là một trong những ràng buộc của bài toán. Tuy nhiên, khi xem xét yếu tố xác suất sử dụng công suất dự trữ cho bài toán điều phối tải kinh tế, ràng buộc cân bằng ở trên được phải có tổng công suất đầu ra của các tổ máy phát nhỏ hơn hoặc bằng công suất tải yêu cầu ( $FP_D$ ) mô tả như bên dưới.

$$\sum_{k=1}^N P_k \leq FP_D \quad (5)$$

- **Ràng buộc công suất dự trữ**

Trong nghiên cứu (Sudhakar et al., 2018), lí do tạo ra lượng dự trữ và hợp đồng tạo dự trữ đã được đề cập. Đầu tiên, các nhà cung cấp năng lượng sẽ bán năng lượng điện cho khách hàng của họ thông qua các hợp đồng đã kí. Để tránh sự gián đoạn dịch vụ và bù đắp cho khách hàng về sự gián đoạn do sự cố của máy phát điện của họ, các nhà cung cấp năng lượng có thể mua năng lượng dự trữ từ các nhà cung cấp khác. Tiếp theo, các nhà máy năng lượng tái tạo cũng thường gây ra sự gián đoạn vì thiếu hụt công suất nên phải mua lượng dự trữ từ các nhà máy khác. Tương tự như sản xuất điện, tổng công suất dự trữ của tất cả các tổ máy có thể thấp hơn nhu cầu dự trữ ( $FR_D$ ) miễn là tổng lợi nhuận cao và các công ty sản xuất có thể mua dự trữ thấp hơn nhu cầu dự trữ dự báo.

$$\sum_{k=1}^N RP_k \leq FR_D \quad (6)$$

- **Giới hạn công suất phát**

Công suất phát của các tổ máy phát phải trong giới hạn nhỏ nhất và giới hạn lớn nhất của nó. Giới hạn nhỏ nhất này là giới hạn do tính kinh tế, nếu phát nhỏ hơn nhà máy sẽ lỗ và giới hạn trên là giới hạn liên quan đến khả năng vật lí của máy phát, công suất định mức của máy phát được biểu diễn:

$$P_k^{\min} \leq P_k \leq P_k^{\max} \quad (7)$$

Trong đó

$P_k^{\min}$ : giới hạn công suất phát nhỏ nhất của tổ máy phát thứ k

$P_k^{\max}$ : giới hạn công suất phát lớn nhất của tổ máy phát thứ k

• **Giới hạn công suất dự trữ**

Công suất dự trữ của các tổ máy phát phụ thuộc vào công suất phát và khả năng phát còn lại của tổ máy đó nên công suất dự trữ bị ràng buộc bởi điều kiện bên sau.

$$0 \leq RP_k \leq P_k^{max} - P_k^{min} \tag{8}$$

$$P_k + RP_k \leq P_k^{max} \tag{9}$$

Ràng buộc dự trữ này là một ràng buộc khó do nó vừa phải thỏa giới hạn nhỏ nhất và lớn nhất của máy phát mà còn phải thỏa giới hạn phát tổng và dự trữ tổng của hệ thống. Do đó, để xử lý được ràng buộc này, ta cần xây dựng lại giới hạn cho công suất dự trữ bằng cách xác định giới hạn lớn nhất của công suất dự trữ phải bằng công suất phát lớn nhất của máy phát trừ đi công suất đã phát rồi. Vì vậy, khi giải bài toán ELD có điều kiện giới hạn này thì biến công suất dự trữ vừa là biến điều khiển của thuật toán vừa là biến phụ thuộc vào công suất phát của máy phát.

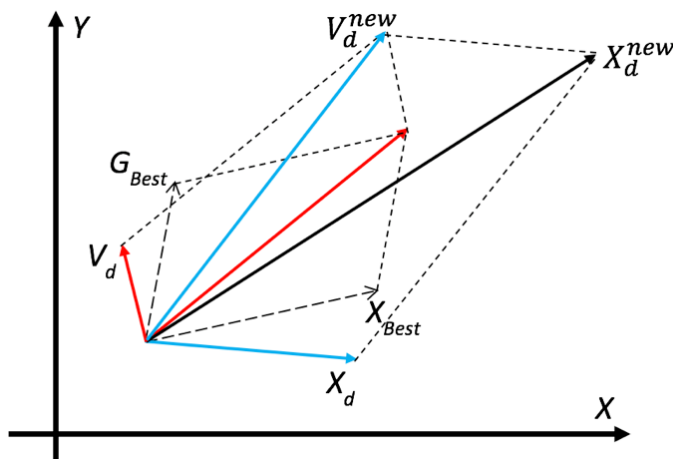
**2.3. Giải thuật tối ưu bầy đàn cổ điển**

Giải thuật PSO được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực kĩ thuật khác nhau. PSO sử dụng quá trình dịch chuyển của các cá thể để đánh giá học hỏi và tìm ra nghiệm tốt nhất. Mỗi cá thể được đại diện bởi vị trí và vận tốc của nó. Quá trình cập nhật vận tốc ảnh hưởng bởi vị trí và vận tốc của cá thể thứ d, cũng như vị trí và vận tốc của cá thể tốt nhất. Mô hình vận tốc và vị trí của các cá thể trong giải thuật PSO được biểu diễn như sau.

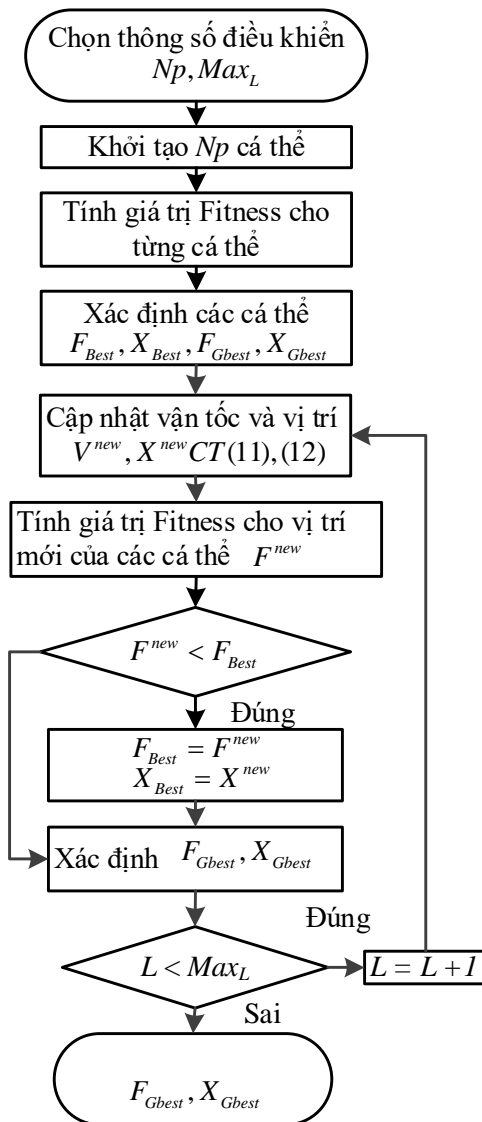
$$V_d^{new} = V_d + \alpha_1 r_1 (X_{Best} - X_d) + \alpha_2 r_2 (X_{GBest} - X_d); \quad d = 1..N_p \tag{10}$$

$$X_d^{new} = X_d + V_d^{new}; \quad d = 1..N_p \tag{11}$$

Hình 2 thể hiện quá trình dịch chuyển của các thể PSO phụ thuộc vào các đặc trưng là vận tốc mới  $V_d^{new}$  được xác định dựa trên cá thể tốt nhất bầy  $G_{Best}$  và vị trí tốt nhất  $X_{Best}$  như công thức (10). Vị trí mới  $X_d^{new}$  thì được xác định dựa trên  $X_d$  và vận tốc mới theo công thức (11). Lưu đồ giải thuật PSO cổ điển được trình bày trong Hình 3.

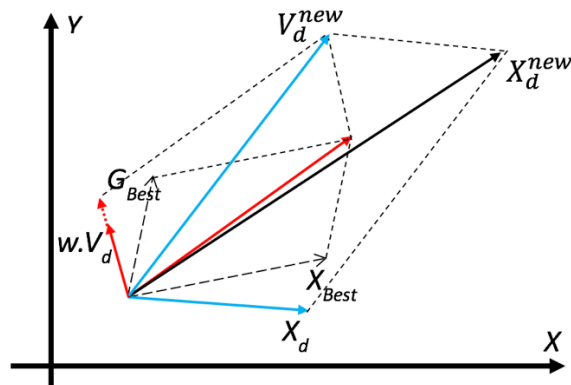


Hình 2. Sự dịch chuyển của các cá thể trong giải thuật PSO

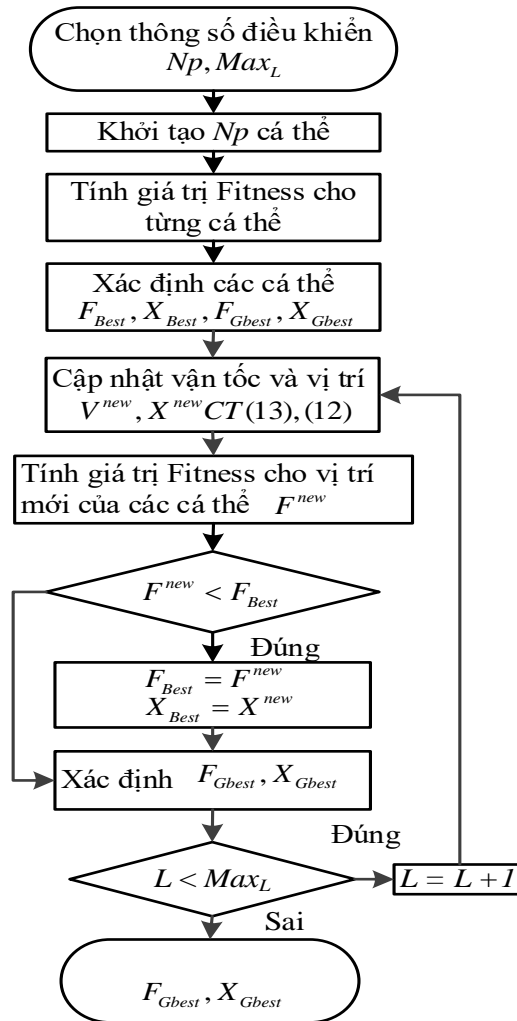


Hình 3. Lưu đồ giải thuật PSO

2.4. Giải thuật tối ưu bầy đàn cải tiến với trọng số khối lượng



Hình 4. Sự dịch chuyển của các cá thể trong giải thuật IWPSO



Hình 5. Lưu đồ giải thuật IWPSO

PSO thông thường đã được biết đến là công cụ mạnh mẽ và nhanh chóng trong việc giải quyết các bài toán tối ưu hóa nhưng nó vẫn có một số nhược điểm về việc dễ dàng bị mắc kẹt trong vùng cục bộ và hội tụ chậm cho các hệ thống lớn trong các điều kiện và ràng buộc hoạt động phức tạp. Vì lí do đó, bài báo này đã đề xuất một phiên bản khác cải tiến PSO bằng cách thêm vào trọng số khối lượng (Particle Swarm Optimization with Inertia Weight – IWPSO) được trình bày chi tiết như dưới đây.

IWPSO là thuật toán cải tiến của PSO dựa trên trọng số khối lượng  $w$  được thêm vào công thức vận tốc của PSO ban đầu để cân bằng giữa tìm kiếm toàn cầu và địa phương. Trong bài báo này,  $w$  được đề xuất dưới dạng một mô hình hoàn toàn mới. Giá trị này thay đổi khi số lần lặp thay đổi. Vì vậy, mô hình vận tốc và trọng số  $w$  được trình bày như sau.

$$V_d^{new} = wV_d + \alpha_1 r_1 (X_{Best} - X_d) + \alpha_2 r_2 (X_{GBest} - X_d); \quad d = 1..N_p \quad (13)$$

$$w = w_{max} \frac{w_{max} - w_{min}}{MaxL} L; \quad L = 1..MaxL \quad (14)$$



Trong đó

$\alpha_1, \alpha_2$ : hệ số đóng góp của thuật toán

$r_1, r_2$ : giá trị ngẫu nhiên giữa 0 và 1

$w_{max}$ : giới hạn lớn nhất của hệ số  $w$

$w_{min}$ : giới hạn nhỏ nhất của hệ số  $w$

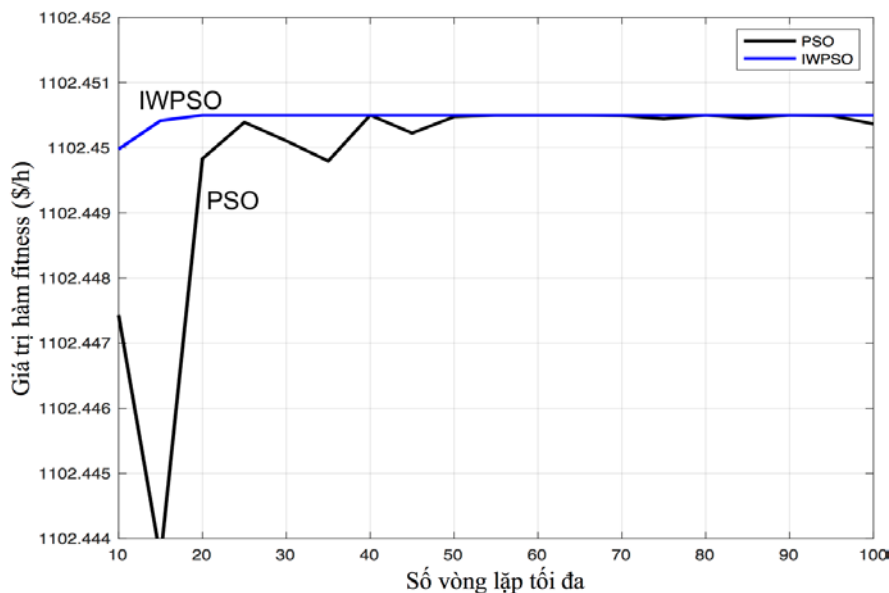
Tương tự như PSO thì Hình 4 cho ta thấy, quá trình dịch chuyển của các cá thể trong giải thuật IWPSO cũng phụ thuộc vào các đặc trưng như là vận tốc mới  $V_d^{new}$  được xác định như công thức (13) dựa trên cá thể tốt nhất bầy  $G_{Best}$  và vị trí tốt nhất  $X_{Best}$  nhưng lại có thêm yếu tố của trọng số khối lượng  $w$  được tính như công thức (14) còn vị trí mới  $X_d^{new}$  thì được xác định dựa trên  $X_d$  và vận tốc mới được cập nhật tương tự như trên. Lưu đồ giải thuật IWPSO được trình bày trong Hình 5.

**2.5. Kết quả**

Thông số bài toán hệ thống gồm có 3 tổ máy được trình bày trong Bảng 1 gồm các giá trị về yêu cầu của bài toán và thông số công suất và các hệ số chi phí của các tổ máy.

**Bảng 1. Thông số giá dự báo cho hệ thống**

Các thông số	Giá trị
Công suất phát yêu cầu $FP_D$ (MW)	1100
Công suất dự trữ yêu cầu $FR_D$ (MW)	100
Giá cho công suất phát FSP (\$/MWh)	11.30
Giá cho công suất dự trữ FRP (\$/MWh)	3.FSP
Xác xuất công suất dự trữ được sử dụng $\omega$	0.005



**Hình 6. Đồ thị lợi nhuận cực đại thu được**

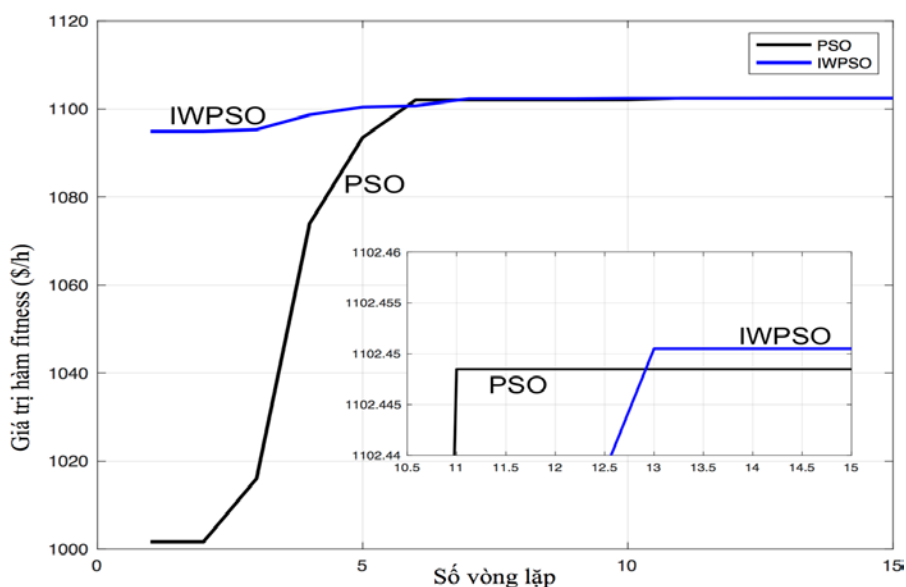
Hình 6 là kết quả thu được với giá trị của vòng lặp lớn nhất được chọn từ 10 đến 100. Với mỗi giá trị của vòng lặp lớn nhất, tác giả có khảo sát 50 lần thành công. Giá trị tốt nhất của 50 lần chạy đó được vẽ trên hình này. Qua hình này, ta thấy được là phiên bản cải tiến của PSO là IWPSO là đường màu xanh dương có khả năng tìm kiếm giá trị cực đại lợi nhuận cao hơn PSO là đường màu đen khi chọn Max<sub>L</sub> từ 10 đến 50.

Từ kết quả này cũng cho thấy khi Max<sub>L</sub> có giá trị từ 50 trở lên thì giải thuật PSO chưa tìm được giá trị cực đại và vẫn còn dao động chưa ổn định, trong khi giải thuật IWPSO đã ổn định, không dao động nữa. Điều này cho thấy khả năng tin cậy khi tìm kiếm của IWPSO cao hơn PSO cổ điển.

Bảng 2 cho thấy, kết quả của lợi nhuận tối đa, lợi nhuận trung bình và lợi nhuận tối thiểu của các giải thuật cùng một thông số đầu vào. So sánh với giải thuật PSO thì giải thuật IWPSO có thể thu được lợi nhuận hiệu quả hơn. Điều đó có nghĩa là nó có khả năng tốt hơn PSO trong việc tìm nghiệm tối ưu.

Đặc tính hội tụ tốt nhất trong 50 lần chạy thành công của từng giải thuật PSO cũng được vẽ lại trong Hình 7. Hình này cho ta thấy giải thuật IWPSO hội tụ sớm hơn PSO và kết quả cuối cùng thu được cũng tốt hơn PSO. Kết quả này càng chứng minh cho khả năng tìm kiếm nghiệm tối ưu của giải thuật cải tiến IWPSO tốt hơn giải thuật PSO cổ điển.

Bảng 2 cũng cho thấy kết quả về độ lệch chuẩn của giải thuật IWPSO cũng thấp hơn nhiều so với giải thuật PSO cổ điển, chứng tỏ khả năng vận hành kinh tế-kỹ thuật hệ thống điện của giải thuật IWPSO tốt hơn nhiều PSO cổ điển.



Hình 7. Đặc tính hội tụ của 2 giải thuật

**Bảng 2.** So sánh độ lệch chuẩn giữa 2 giải thuật

Giải thuật	Giá trị lợi			Độ lệch chuẩn
	nhuận lớn nhất (\$/h)	nhuận trung bình (\$/h)	nhuận thấp nhất (\$/h)	
PSO	1,102.448	999.7856	325	201.9246
IWPSO	1,102.451	999.8291	494.9503	166.3297

### 3. Kết luận

Trong bài báo này, bài toán phân bố tải kinh tế trong thị trường điện cạnh tranh đã được xem xét. Các giải thuật PSO cổ điển và PSO cải tiến đã được áp dụng để giải quyết tối ưu kinh tế-kỹ thuật hệ thống điện. Kết quả so sánh hai giải thuật này khi áp dụng cho hệ thống thử nghiệm thì giải thuật PSO cải tiến xét đến trọng số khối lượng (IWPSO) là giải thuật tốt hơn giải thuật PSO cổ điển và là một giải thuật đại diện trong số các giải thuật PSO để so sánh với các giải thuật khác. Cụ thể là đối với hệ thống thử nghiệm mười tổ máy phát, khả năng tìm kiếm của giải thuật IWPSO ưu việt hơn giải thuật PSO cổ điển. Hơn nữa, giải thuật IWPSO là giải thuật ổn định nhất và nhanh nhất vì nó có độ lệch chuẩn và có số lần tạo nghiệm mới nhỏ hơn so với các nghiệm trước. Vì lí do này, có thể nhận xét rằng giải thuật IWPSO có thể được sử dụng như một kỹ thuật tối ưu hóa tốt cho bài toán phân bố tải kinh tế trong thị trường điện cạnh tranh.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **Lời cảm ơn:** Công trình nghiên cứu này thuộc đề tài mã số B2020-SPK-02 được Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam tài trợ và được Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh chủ trì.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Dey, T. (2014). Economic load dispatch for multi-generator systems with units having nonlinear and discontinuous cost curves using gravity search algorithm. *International Journal of Applied Power Engineering*, 3(3), 166-174.
- Dubey, B. K., Singh, N. K., & Bhambri, S. (2019). Optimization of PID controller parameters using PSO for two area load frequency control. *IAES International Journal of Robotics and Automation*, 8(4), 256.
- Gachhayat, S. K., Dash, S. K., & Ray, P. (2017). Multi objective directed bee colony optimization for economic load dispatch with enhanced power demand and valve point loading. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 7(5), 2382-2391.
- Khamseen, W., Takeang, C., & Aunban, P. (2020). Hybrid method for solving the non smooth cost function economic dispatch problem. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10, 609-616.

- Krishna, P. R., & Sao, S. (2016). An improved TLBO algorithm to solve profit based unit commitment problem under deregulated environment. *Procedia Technology*, 25, 652-659.
- Singhal, P. K., Naresh, R., & Sharma, V. (2015). Binary fish swarm algorithm for profit-based unit commitment problem in competitive electricity market with ramp rate constraints. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(13), 1697-1707.
- Orike, S., & Corne, D. (2013). An evolutionary algorithm for bid-based dynamic economic load dispatch in a deregulated electricity market. *13th UK Workshop on Computational Intelligence*, 313-320.
- Srikanth, R. K., Lokesh, P., Panigrahi, B. K., & Rajesh, K. (2019). Binary whale optimization algorithm: A new metaheuristic approach for profit-based unit commitment problems in competitive electricity markets. *Engineering Optimization*, 51(3), 369-389.
- Sudhakar, A. V. V., Karri, C., & Laxmi, A. J. (2018). A hybrid LR-secant method-invasive weed optimisation for profit-based unit commitment. *International Journal of Power and Energy Conversion*, 9(1), 1-24.
- Vo, N. D., Ongsakul, W., & Nguyen, P. K. (2012). Augmented Lagrange Hopfield network for solving economic dispatch problem in competitive environment. *AIP Conference Proceedings*, 1499(1), 46-53.
- Yoshida, H., Kawata, K., Fukuyama, Y., Takayama, S., & Nakanishi, Y. (2000). A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(4), 1232-1239.

---

**PROPOSE A PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM  
WITH INERTIA WEIGHT TO SOLVE THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM  
IN THE ELECTRIC MARKET**

**Le Chi Kien<sup>1</sup>, Phan Minh Tan<sup>2</sup>, Nguyen Trung Thang<sup>2</sup>, Hoang Do Ngoc Tram<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>HCMC University Technology and Education, Vietnam

<sup>2</sup>Ton Duc Thang University, Vietnam

<sup>3</sup>Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

\*Corresponding author: Hoang Do Ngoc Tram – Email: tramnhd@hcmue.edu.vn

Received: August 10, 2021; Revised: December 10, 2021; Accepted: December 14, 2021

**ABSTRACT**

*The economic load dispatch problem under the competitive electric market is a new problem that receives interest from researchers, and many measures have been considered to solve this problem. In this paper, a particle swarm optimization algorithm with inertia weight is proposed. As a result, the proposed algorithm is superior to other methods for the search capability, and it also obtains the highest profit, fast converge speed, and simulation time.*

**Keywords:** economic load dispatch; inertia weight; particle swarm optimization; total profit