

# MÔ HÌNH DỰ BÁO PHỤ TẢI NGẮN HẠN DỰA TRÊN MẠNG NƠON NHÂN TẠO KẾT HỢP THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

## IMPLEMENTATION OF GENETIC ALGORITHM FOR AN ANN-BASED SHORT-TERM LOAD FORECASTING MODEL

Phạm Mạnh Hải, Vũ Thị Anh Thơ<sup>1</sup>, Phạm Văn Duy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực, <sup>2</sup>Trung tâm Năng lượng mới và tái tạo

### Tóm tắt:

Bài báo mô tả một mô hình dự báo phụ tải được phát triển dựa trên mạng nơon nhân tạo (ANN). Trong mô hình này, thuật toán di truyền được nhúng trong quá trình học của mạng nơon. Các kết quả và tốc độ tính toán của mô hình được kiểm chứng thông qua so sánh với thuật toán lan truyền ngược.

### Từ khoá:

Dự báo phụ tải ngắn hạn, dự báo phụ tải điện ngày, thuật toán di truyền, thuật toán lan truyền ngược, mạng nơon nhân tạo.

### Abstract:

This article describes a short-term load forecasting (STLF) model which developed on an artificial neural network (ANN). Using basic genetic algorithm (GA) in the learning process of ANN is tested and compared with the Back-Propagation algorithm (BP) about the error and the execution time.

### Keywords:

Short-term load forecasting, genetic algorithm, back-propagation algorithm, artificial neural network.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, tình hình nghiên cứu trong lĩnh vực dự báo phụ tải ngắn hạn (STLF) đang ngày càng phát triển để đáp ứng nhu cầu đảm bảo cung cấp điện an toàn và liên tục. Trong nước có thể kể đến một số công trình nghiên cứu của tác giả Trần Kỳ Phúc và các cộng sự [1], [2]. Tác giả đã nghiên cứu ứng

dụng mạng nơon nhân tạo một lớp ẩn để dự báo phụ tải ngày của thành phố Hà Nội có tính đến các yếu tố thời tiết như: nhiệt độ và độ ẩm. Cùng giải thuật như các tác giả trên, tác giả Chu Nghĩa [3] thực hiện nghiên cứu STLF cho phụ tải Miền Bắc. Trên thế giới, các nghiên cứu về STLF được công bố rộng rãi và rất đa dạng về phương pháp. Engle và cộng sự [4] trình bày một số mô hình hồi quy để dự báo phụ tải ngày hôm sau. Các mô hình này

Ngày nhận bài: 16/5/2017, ngày chấp nhận đăng: 3/10/2017, phản biện: TS. Trần Thanh Sơn.

kết hợp các ảnh hưởng cố định như ngày lễ, ảnh hưởng ngẫu nhiên như công suất trung bình và ảnh hưởng ngoại lai như thời tiết. Tuy nhiên, mô hình được đề xuất chỉ phù hợp với phụ tải đang được nghiên cứu. Các phương pháp hồi quy được nghiên cứu rộng rãi và được coi như một trong những phương pháp truyền thống, các tác giả khác nhau sẽ có những thay đổi khác nhau trong mô hình hồi quy để giảm thiểu sai số [5]–[7]. Một số tác giả đã mô tả và triển khai ứng dụng mô hình ARMA (tự hồi quy kết hợp trung bình trượt), ARIMA (tự hồi quy tích hợp trung bình trượt với các biến ngoại lai) như Fan và McDonald [8]. Cho và cộng sự [9] phát triển các mô hình này bằng việc triển khai các mô hình ARIMAX.

Thời gian gần đây, các kỹ thuật, phương pháp dự báo dựa trên mạng nơ ron nhân tạo được nghiên cứu rất nhiều. Kiến trúc ANN phổ biến nhất để dự báo phụ tải điện là lan truyền ngược (BP). Mạng này so sánh liên tục giá trị hàm mục tiêu đã xác định sau mỗi vòng lặp và theo luật học có giám sát. Bên cạnh đó, ANN với luật học không giám sát cũng đã được khai thác khá nhiều vì ưu điểm không cần huấn luyện trước khi hoạt động. Bakirtzis và các cộng sự [10] đã phát triển một mô hình dự báo tải ngắn hạn ANN cho một công ty ở Hy Lạp. Họ sử dụng mạng ANN ba lớp ẩn và thuật toán BP để huấn luyện nơ ron. Các biến đầu vào bao gồm các dữ liệu quá khứ của phụ tải hàng giờ và nhiệt độ của các ngày trong tuần. Mô hình này có thể dự báo phụ tải từ 1-7 ngày. Papalexopoulos và các cộng sự [11] đã phát triển và thực hiện một mạng ANN

nhiều lớp ẩn cho STLF. Trong các mô hình mà nhóm tác giả đã thử nghiệm, ba loại biến được sử dụng làm đầu vào cho các mạng ANN: yếu tố mùa, thời tiết và số liệu phụ tải quá khứ. Khotanzad và cộng sự [12] mô tả một mô hình dự báo phụ tải được gọi là ANNSTLF. Họ sử dụng các mạng ANN nhiều lớp dạng Perception để huấn luyện với thuật toán BP. Mô hình ANNSTLF này có thể xem xét các tác động của nhiệt độ và độ ẩm tương đối vào phụ tải. Đồng thời, nó có thể dự báo nhiệt độ và độ ẩm theo giờ. Đây là một cải tiến của nhóm tác giả so với những nghiên cứu khác. Hiện tại, ANNSTLF bao gồm hai chức năng dự báo: dự báo phụ tải cơ sở và dự báo phụ tải thay đổi. Dự báo cuối cùng được tính bằng cách kết hợp hai phần dự báo này. Ảnh hưởng của độ ẩm và tốc độ gió được coi như có quan hệ tuyến tính với nhiệt độ. Cho đến nay, mô hình này đã được sử dụng bởi hơn 35 công ty bán điện tại Bắc Mỹ. Rất nhiều nghiên cứu sử dụng mạng nơ ron nhân tạo kết hợp với các kỹ thuật khác như dự báo chuỗi thời gian là logic mờ [13], [14].

Gần đây, việc áp dụng mạng nơ ron hồi quy kết hợp một số phương pháp tiến hoá đã trở nên phổ biến với bài toán STLF và thu được kết quả khả quan như với thuật toán di truyền (GA) [15], thuật toán bầy đàn (PSO) [16]–[18]. Vì những lợi thế triển vọng của thuật toán GA của những nghiên cứu trên với các đối tượng khác, bài báo này trình bày nghiên cứu áp dụng GA đối với phụ tải khu vực Hà Nội nhằm xác minh tính tối ưu của thuật toán này. Cấu trúc của bài báo gồm 5 phần:

Mục 1: Giới thiệu chung.

Mục 2 trình bày về mô hình giải thuật bài toán dự báo phụ tải ngắn hạn.

Mục 3 giới thiệu thuật toán GA dùng huấn luyện mạng nơron nhân tạo và ứng dụng trong Matlab.

Mục 4 đưa ra các so sánh kết quả khi dùng thuật toán GA và thuật toán BP. Sau đó ứng dụng GA huấn luyện mạng nơron để dự báo phụ tải 24h cho ngày cụ thể.

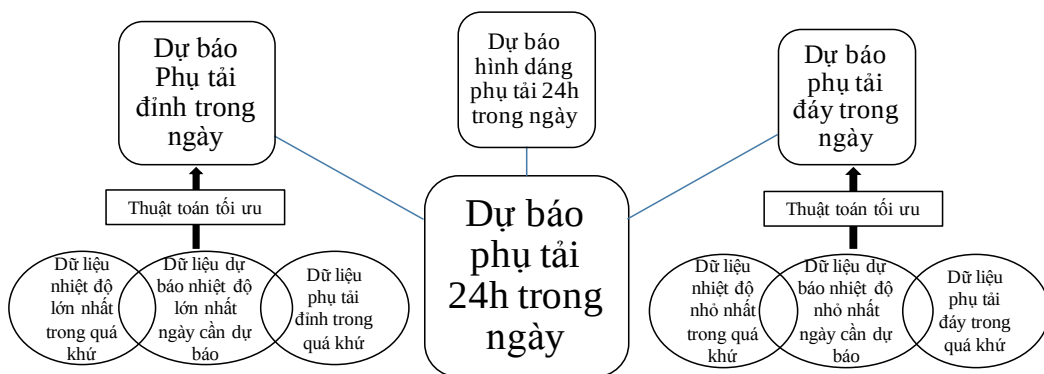
Mục 5 là một số kết luận về sai số, khả năng cải thiện của thuật toán GA.

## 2. MÔ HÌNH GIẢI THUẬT BÀI TOÁN DỰ BÁO PHỤ TẢI NGẮN HẠN

Hiện nay có 3 mô hình chính để dự báo phụ tải ngắn hạn:

- Mô hình 1: mô hình kết hợp dự báo đỉnh, đáy đồ thị phụ tải và hình dáng đồ thị phụ tải;
- Mô hình 2: mô hình dự báo đồng thời 24h của ngày cần dự báo;
- Mô hình 3: mô hình dự báo từng giờ của ngày cần dự báo.

Mỗi mô hình nêu trên đều có ưu và nhược điểm riêng, tuy nhiên, trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng mô hình 1 để dự báo vì trong mô hình này có xét đến sự phân loại ngày độc lập với nhiệm vụ dự báo đỉnh và đáy đồ thị phụ tải. Mô hình giải thuật dự báo phụ tải trong nghiên cứu này được biểu diễn như trên hình 1. Trong đó, để tập trung vào mục đích ứng dụng thuật toán tối ưu GA, mô hình không mô tả phương pháp phân loại ngày mà sử dụng kết quả phân loại ngày đã thực hiện.



Hình 1: Mô hình giải thuật dự báo phụ tải 24h trong ngày được sử dụng.  
Thuật toán tối ưu được sử dụng bao gồm cả GA và BP

Với hình dáng (biết được các giá trị quy đổi  $P_n(i)$ ), phụ tải đỉnh ( $P_{\max}$ ) và phụ tải đáy ( $P_{\min}$ ), chúng ta có thể xây dựng được đồ thị phụ tải ngày cần dự báo bằng công thức quy đổi [3], [19]:

$$P_n(i) = \frac{P_i - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad (1)$$

Trong đó:

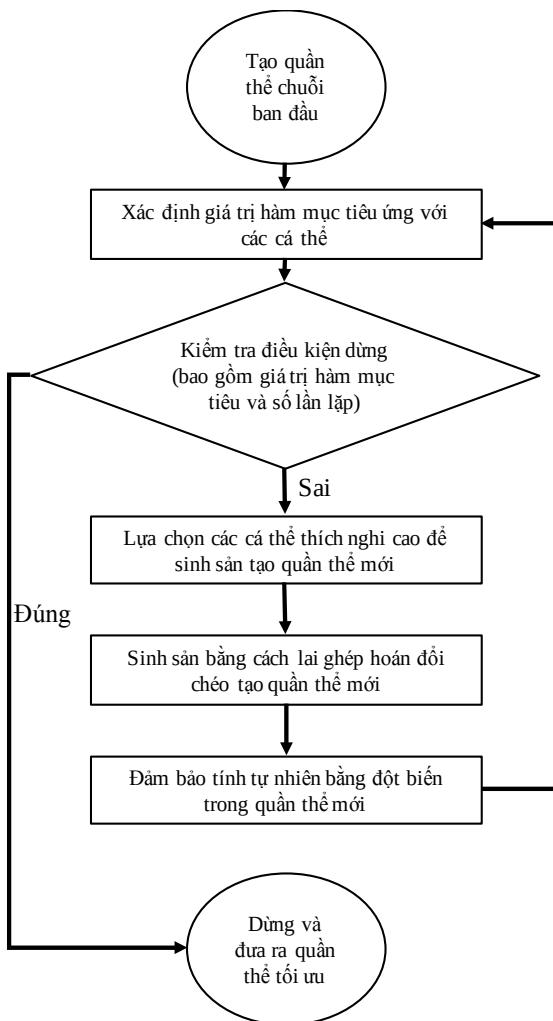
$P_n(i)$ : Phụ tải quy đổi tương ứng giờ thứ  $i$ ;

$P_i$ : Phụ tải thực tế giờ thứ  $i$ ;

$P_{max}, P_{min}$ : Phụ tải đỉnh, đáy trong ngày.

### 3. THUẬT TOÁN GA DÙNG HUẤN LUYỆN ANN VÀ ỨNG DỤNG TRONG MATLAB

#### 3.1. Thuật toán GA



Hình 2. Sơ đồ khối thuật toán GA đơn giản sử dụng trong phương pháp dự báo

Như đã mô tả ở phần giới thiệu chung, ở đây, với mục đích kiểm chứng tính tối ưu của GA cho đối tượng cụ thể là phụ tải điện trong ngày của thành phố Hà Nội,

chúng tôi sử dụng thuật toán GA đơn giản với cấu trúc gồm 4 toán tử cơ bản: tái tạo, lai ghép, đột biến và chọn lọc. Thuật toán này bắt đầu với một quần thể các chuỗi và thực hiện tạo ra quần thể mới thông qua 4 toán tử trên. Các quần thể chuỗi mới được gọi là quần thể tiến hoá sẽ có độ thích nghi cao hơn so với quần thể chuỗi ban đầu. Quá trình thực hiện thuật toán GA được biểu diễn theo lưu đồ thuật toán trên hình 2.

#### 3.2. Ứng dụng thuật toán di truyền vào bài toán tối ưu hoá bộ trọng số của mạng nơron

Ứng dụng thuật toán di truyền vào việc học của mạng nơron được thực hiện thông qua:

- Xây dựng hàm mục tiêu;
- Mã hoá nhiễm sắc thể;
- Thực hiện các toán tử của thuật toán di truyền.

Các vấn đề này được mô tả chi tiết như ở dưới.

##### 3.2.1. Xây dựng hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu này sẽ được sử dụng để tạo nên độ phù hợp của các cá thể và của cả quần thể trong thuật toán di truyền. Nghiên cứu này sử dụng hàm trung bình tổng bình phương lỗi MSE của tập học mẫu:

$$E = \frac{1}{PN} \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N (t_{pn} - y_{pn})^2 \quad (2)$$

Trong đó:

$E$ : sai số của quá trình huấn luyện;

$p, P$ : số thứ tự mẫu và tổng số mẫu trong tập huấn luyện;

$n, N$ : số thứ tự của mỗi đầu ra và tổng số đầu ra;

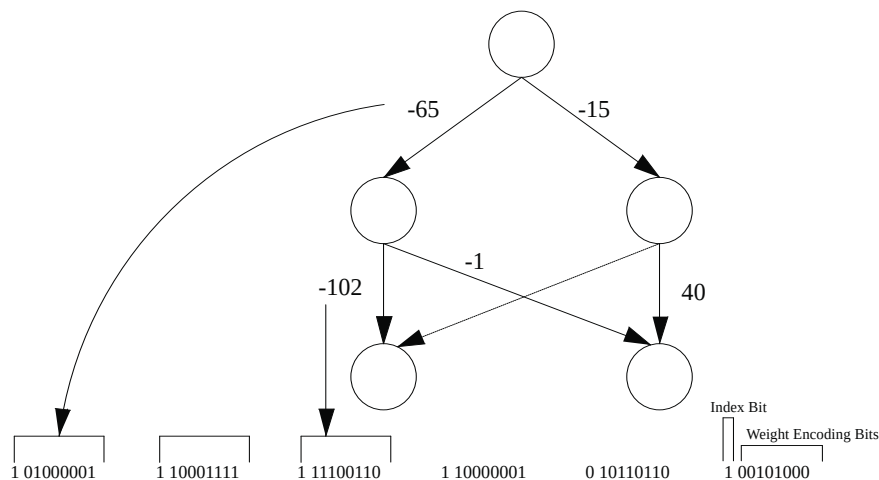
$t_{pn}$  và  $y_{pn}$ : đầu ra mong muốn và đầu ra thực tế của mạng cho đầu ra thứ  $n$  tương ứng mẫu thứ  $p$ .

### 3.2.2. Mã hoá nhiễu sắc thể

Trong thuật toán được xây dựng, mỗi cá thể được hiểu là một bộ trọng số của mạng nơron. Ở đây, chúng tôi không phân biệt trọng số nào ở lớp nào mà chỉ cần trải toàn bộ trọng số lên sơ đồ gen của nhiễu sắc thể. Việc mã hoá nhiễu sắc thể có tác dụng tăng tốc cho quá trình tính toán, chính vì vậy, phương pháp mã hoá nhiễu sắc thể được nghiên cứu rất nhiều. Có hai cách mã hoá được sử dụng nhiều:

### Mã hoá nhị phân

Hiện nay có một phương pháp mã hoá nhiễu sắc thể khá nổi tiếng do Whitley cùng các cộng sự [20] đề xuất và được gọi là GENITOR. Tuy có nhiều phiên bản GENITOR cho đến nay nhưng về cơ bản, mỗi trọng số của mạng được mã hoá thành một chuỗi bit như hình 3. Index-bit để chỉ ra sự tồn tại của kết nối (1-có, 0-không). Chuỗi bit nhị phân còn lại sẽ biểu diễn giá trị của các trọng số. Nhóm tác giả sử dụng 8 bit để mã hoá các giá trị từ -127 đến +127. Theo phương pháp mã hoá này, các toán tử đột biến và lai ghép được thực hiện khá đơn giản. Số bit càng tăng, việc mã hoá càng chính xác. Tuy nhiên, việc tăng số bit sẽ làm tăng chiều dài của các nhiễu sắc thể, do đó, làm tăng thời gian thực thi thuật toán.



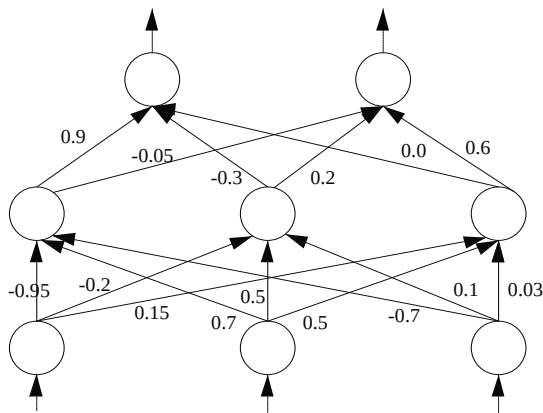
Hình 3. Biểu diễn mã hoá nhị phân

### Mã hoá số thực

Một nhóm tác giả khác, Montana D. Và Davis L. [21] đã đề xuất mã hoá trực tiếp

các trọng số bằng các số thực. Lý do được đưa ra cho việc này là nhằm đảm bảo độ chính xác của phép mã hoá cũng như

giảm kích thước nhiễm sắc thể, do đó, cũng giảm thời gian thực thi thuật toán. Thuật toán sử dụng phương pháp mã hoá số thực thông thường sẽ đơn giản hơn, phù hợp với những nghiên cứu kiểm chứng các thuật toán. Chính vì vậy, bài báo này cũng sử dụng phương pháp mã hoá số thực để thực hiện mã hoá trọng số. Các trọng số (hay các gen của nhiễm sắc thể) được khởi tạo ngẫu nhiên trong khoảng  $(-3, +3)$ .



Hình 4. Biểu diễn mã hoá số thực

### 3.2.3. Phương pháp lai ghép

Ngay từ những nghiên cứu đầu tiên về GA, hai phương pháp lai ghép quan trọng đã được đưa ra: lai ghép trọng số (crossover-weights) và lai ghép nút (crossover-nodes). Lai ghép trọng số sẽ đưa vào mỗi vị trí của nhiễm sắc thể con (một cách ngẫu nhiên) một giá trị tương ứng cùng vị trí trên nhiễm sắc thể cha hoặc mẹ. Lai ghép nút được thực hiện giữa các nút cùng vị trí của nhiễm sắc thể cha và mẹ. Khi hai nút tại một lớp nào đó được lai ghép, các trọng số của tất cả các liên kết đầu vào tới các nút đó sẽ được hoán vị cho nhau. Để đơn giản hoá các

tính toán, bài báo sử dụng phương pháp lai ghép trọng số.

### 3.2.4. Phương pháp đột biến

Theo lý thuyết mà Montana D và Davis L [21] đưa ra, chúng ta có 2 kiểu đột biến: Đột biến trọng số (mutate weights) và đột biến nút (mutate nodes). Trong khuôn khổ bài báo, nhóm tác giả chỉ sử dụng phương pháp đột biến trọng số để thử nghiệm thuật toán. Tuy nhiên, trong đột biến trọng số cũng cần phân biệt 2 kiểu đột biến khác nhau:

#### Unbiased

Mỗi gen được chọn đột biến ngẫu nhiên sẽ được thay thế bằng 1 giá trị ngẫu nhiên xung quanh giá trị 0.

#### Biased

Mỗi gen được chọn đột biến ngẫu nhiên sẽ được cộng thêm một giá trị ngẫu nhiên.

Trong nghiên cứu của Montana và cộng sự, phương pháp Biased cho kết quả tốt hơn.

## 4. ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN GA VÀ BP CHO BÀI TOÁN STLF

### 4.1. Xây dựng giao diện chương trình

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng công cụ ANN được tích hợp trong Matlab phiên bản R2015b. Nhóm tác giả sử dụng công cụ GUI để xây dựng một giao diện hoàn chỉnh nhằm làm đơn giản hoá việc ứng dụng các thuật toán cho bài toán STLF. Qua giao diện này, người sử dụng có thể thực hiện các mục đích dự báo với các đối tượng khác của riêng mình. Giao diện chương trình được thể hiện như hình 5.



Hình 5. Giao diện chính của chương trình dự báo STLF

Các chức năng chính của chương trình bao gồm:

#### **Methode (Chọn phương pháp dự báo)**

Nhóm tác giả xây dựng 2 lựa chọn để tiện việc đối chiếu và so sánh: Back-Propagation và Genetic Algorithm.

#### **Push to train**

Huấn luyện mạng để thu được bộ trọng số tối ưu.

#### **Forecasting Type**

Lựa chọn đối tượng dự báo (đỉnh hoặc đáy) của đồ thị phụ tải ngày.

#### **Forecasting day**

Lựa chọn ngày cần dự báo.

#### **Graph Plotting và Xls Export**

Vẽ đồ thị so sánh và trích xuất dữ liệu.

#### **Forecast**

Dự báo đỉnh (hoặc đáy) cho đối tượng đã lựa chọn với bộ trọng số đã được huấn luyện.

## **4.2. Cấu hình mạng và thông số thuật toán GA**

Cấu trúc mạng ANN:

- Mạng truyền thẳng;
- Số đầu vào: 13;
- Số đầu ra: 1;
- Số lớp ẩn: 1;
- Số nơ ron lớp ẩn: 5;

Thông số thuật toán GA:

- Kích thước quần thể trọng số: 100;
- Kích thước của 1 cá thể: 76;
- Số thế hệ: 100;
- Hàm mục tiêu: MSE;
- Phương pháp lai ghép: Lai ghép nút;
- Phương pháp đột biến: Biased (0,1).

## **4.3. Dữ liệu đầu vào cho mạng ANN**

Dữ liệu đầu vào để huấn luyện mạng là các phụ tải ngày của tháng 5 năm 2014 của Tổng Công ty Điện lực Hà Nội.

Trong đó, với dự báo đỉnh, ta sử dụng các đầu vào được tổ chức như trong các dữ liệu  $P_{max}$ ,  $t_{max}...$ ; với dự báo đáy, ta sử dụng các dữ liệu  $P_{min}$ ,  $t_{min}...$  Các dữ liệu bảng sau:

**Bảng 1. Dữ liệu đầu vào cho dự báo phụ tải đỉnh**

| Thứ | Ngày      | $T_d^{max}$<br>( $^{\circ}C$ ) | $T_{d-1}^{max}$<br>( $^{\circ}C$ ) | $T_{d-7}^{max}$<br>( $^{\circ}C$ ) | $P_{d-1}^{max}$<br>(MW) | $P_{d-7}^{max}$<br>(MW) | Nơ ron mã hóa ngày |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|-----------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Năm | 1/5/2014  | 30                             | 26                                 | 31                                 | 1538                    | 2230                    | 1                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 2/5/2014  | 31                             | 30                                 | 30                                 | 1471                    | 2201                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 3/5/2014  | 30                             | 31                                 | 32                                 | 1689                    | 2104                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 4/5/2014  | 32                             | 30                                 | 27                                 | 1694                    | 1801                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 5/5/2014  | 26                             | 32                                 | 27                                 | 1749                    | 2021                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 6/5/2014  | 26                             | 26                                 | 28                                 | 1883                    | 1902                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 7/5/2014  | 27                             | 26                                 | 26                                 | 1963                    | 1538                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 8/5/2014  | 30                             | 27                                 | 30                                 | 1989                    | 1471                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 9/5/2014  | 36                             | 30                                 | 31                                 | 1980                    | 1689                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 10/5/2014 | 40                             | 36                                 | 30                                 | 2094                    | 1694                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 11/5/2014 | 37                             | 40                                 | 32                                 | 1949                    | 1749                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 12/5/2014 | 32                             | 37                                 | 26                                 | 1949                    | 1883                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 13/5/2014 | 36                             | 32                                 | 26                                 | 2026                    | 1963                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 14/5/2014 | 39                             | 36                                 | 27                                 | 2169                    | 1989                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 15/5/2014 | 36                             | 39                                 | 30                                 | 2190                    | 1980                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 16/5/2014 | 34                             | 36                                 | 36                                 | 2284                    | 2094                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 17/5/2014 | 35                             | 34                                 | 40                                 | 2126                    | 1949                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 18/5/2014 | 36                             | 35                                 | 37                                 | 1923                    | 1949                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 19/5/2014 | 33                             | 36                                 | 32                                 | 1771                    | 2026                    | 1                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ba  | 20/5/2014 | 34                             | 33                                 | 36                                 | 2074                    | 2169                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 21/5/2014 | 37                             | 34                                 | 39                                 | 2098                    | 2190                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 22/5/2014 | 38                             | 37                                 | 36                                 | 2358                    | 2284                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 23/5/2014 | 37                             | 38                                 | 34                                 | 2323                    | 2126                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 24/5/2014 | 38                             | 37                                 | 35                                 | 2437                    | 1923                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 25/5/2014 | 36                             | 38                                 | 36                                 | 2239                    | 1771                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 26/5/2014 | 33                             | 36                                 | 33                                 | 1862                    | 2074                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 27/5/2014 | 34                             | 33                                 | 34                                 | 2219                    | 2098                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 28/5/2014 | 33                             | 34                                 | 37                                 | 2181                    | 2358                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 29/5/2014 | 33                             | 33                                 | 38                                 | 2031                    | 2323                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 30/5/2014 | 35                             | 33                                 | 37                                 | 2180                    | 2437                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 31/5/2014 | 35                             | 35                                 | 38                                 | 2250                    | 2239                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



**Bảng 2. Dữ liệu đầu vào cho dự báo phụ tải đáy**

| Thứ | Ngày      | $T_d^{min}$<br>(°C) | $T_{d-1}^{min}$<br>(°C) | $T_{d-7}^{min}$<br>(°C) | $P_{d-1}^{min}$<br>(MW) | $P_{d-7}^{min}$<br>(MW) | Nơ ron mã hóa ngày |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|-----------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Năm | 1/5/2014  | 22                  | 20                      | 26                      | 934                     | 1084                    | 1                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 2/5/2014  | 22                  | 22                      | 25                      | 745                     | 1062                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 3/5/2014  | 23                  | 22                      | 24                      | 779                     | 1063                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 4/5/2014  | 24                  | 23                      | 22                      | 862                     | 1066                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 5/5/2014  | 21                  | 24                      | 23                      | 898                     | 962                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 6/5/2014  | 21                  | 21                      | 23                      | 996                     | 1048                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 7/5/2014  | 22                  | 21                      | 20                      | 926                     | 934                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 8/5/2014  | 23                  | 22                      | 22                      | 984                     | 745                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 9/5/2014  | 25                  | 23                      | 22                      | 1067                    | 779                     | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 10/5/2014 | 26                  | 25                      | 23                      | 1023                    | 862                     | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 11/5/2014 | 26                  | 26                      | 24                      | 1203                    | 898                     | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 12/5/2014 | 25                  | 26                      | 21                      | 1203                    | 996                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 13/5/2014 | 26                  | 25                      | 21                      | 1369                    | 926                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 14/5/2014 | 27                  | 26                      | 22                      | 1319                    | 984                     | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 15/5/2014 | 28                  | 27                      | 23                      | 1457                    | 1067                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 16/5/2014 | 26                  | 28                      | 25                      | 1696                    | 1023                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 17/5/2014 | 26                  | 26                      | 26                      | 1174                    | 1203                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 18/5/2014 | 25                  | 26                      | 26                      | 1469                    | 1203                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 19/5/2014 | 25                  | 25                      | 25                      | 1599                    | 1369                    | 1                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ba  | 20/5/2014 | 26                  | 25                      | 26                      | 1151                    | 1319                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 21/5/2014 | 27                  | 26                      | 27                      | 1451                    | 1457                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 22/5/2014 | 28                  | 27                      | 28                      | 1580                    | 1696                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 23/5/2014 | 29                  | 28                      | 26                      | 1678                    | 1174                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 24/5/2014 | 28                  | 29                      | 26                      | 1889                    | 1469                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CN  | 25/5/2014 | 27                  | 28                      | 25                      | 1909                    | 1599                    | 0                  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hai | 26/5/2014 | 26                  | 27                      | 25                      | 1657                    | 1151                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ba  | 27/5/2014 | 25                  | 26                      | 26                      | 1472                    | 1451                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Tư  | 28/5/2014 | 25                  | 25                      | 27                      | 1412                    | 1580                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Năm | 29/5/2014 | 26                  | 25                      | 28                      | 1257                    | 1678                    | 0                  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sáu | 30/5/2014 | 27                  | 26                      | 29                      | 1463                    | 1889                    | 0                  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bảy | 31/5/2014 | 25                  | 27                      | 28                      | 1516                    | 1909                    | 0                  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Trong đó, mỗi cột dữ liệu từ cột 2 đến cột 15 là một đầu vào của mạng nơron (có 13 đầu vào):

- Cột 2 đến 7 của mỗi bảng thể hiện lần lượt nhiệt độ nhỏ nhất trong ngày, nhiệt độ nhỏ (lớn) nhất trong ngày trước đó 1 ngày, nhiệt độ nhỏ (lớn) nhất trong ngày trước đó 7 ngày, công suất tác dụng nhỏ (lớn) nhất trong ngày trước đó 1 ngày, công suất tác dụng nhỏ (lớn) nhất trong

ngày trước đó 7 ngày.

- Cột 8 đến 15 của mỗi bảng thể hiện các bit mã hoá đặc điểm của ngày hiện tại (cột 8: ngày lễ, cột 9 đến 15: mã hoá là ngày nào trong tuần).

#### 4.4. So sánh kết quả huấn luyện và thử nghiệm với 2 thuật toán BP và GA

Dựa trên kết quả thu được khi chạy thử với 2 thuật toán GA và BP, ta có được kết quả như sau:

**Bảng 3. Kết quả so sánh sai số giữa hai thuật toán BP và GA**

| Thuật toán | Sai số dự báo đỉnh (%) |          |            | Sai số dự báo đáy (%) |          |            |
|------------|------------------------|----------|------------|-----------------------|----------|------------|
|            | Lớn nhất               | Nhỏ nhất | Trung bình | Lớn nhất              | Nhỏ nhất | Trung bình |
| BP         | 3,39                   | 0,038    | 1,17       | 2,69                  | 0,0026   | 0,685      |
| GA         | 3,5                    | 0,033    | 1,80       | 3,68                  | 0,1      | 1,84       |

Với kết quả sai số như trên, nhận thấy GA có sai số khác không đáng kể so với BP khi dự báo phụ tải đỉnh. Tuy nhiên, dự báo phụ tải đáy lại có sai số lớn hơn rõ ràng. Với mục đích để kiểm chứng hiệu quả của thuật toán, sai số này khá dễ có thể chấp nhận được dùng để dự báo phụ tải 24h cho một ngày cụ thể. Sau đây, chúng tôi sẽ sử dụng GA để huấn luyện mạng nơron nhân tạo. Sau đó, kết hợp 3

bước dự báo như hình 1 để đưa ra kết quả dự báo chính thức cho ngày 23/05/2014. Mức sai số sẽ được đánh giá thông qua so sánh với phụ tải thực tế của ngày 23/05/2014.

#### **4.5. Sử dụng phần mềm dự báo 24h cho ngày cụ thể**

##### **4.5.1. Số liệu dự báo đỉnh và đáy phụ tải ngày 23/05/2014**

**Bảng 4. Kết quả dự báo đỉnh, đáy phụ tải ngày 23/05/2014**

| Ngày       | T <sub>min-1</sub> | T <sub>max-1</sub> | T <sub>min-7</sub> | T <sub>max-7</sub> | P <sub>min-1</sub> | P <sub>max-1</sub> | P <sub>min-7</sub> | P <sub>max-7</sub> | T <sub>min</sub> | T <sub>max</sub> | P <sub>min d</sub><br>23/0 | P <sub>max d</sub><br>23/0 |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| 23/05/2014 | 28                 | 38                 | 26                 | 34                 | 1678               | 2323               | 1174               | 2126               | 29               | 37               | 1887                       | 2402                       |

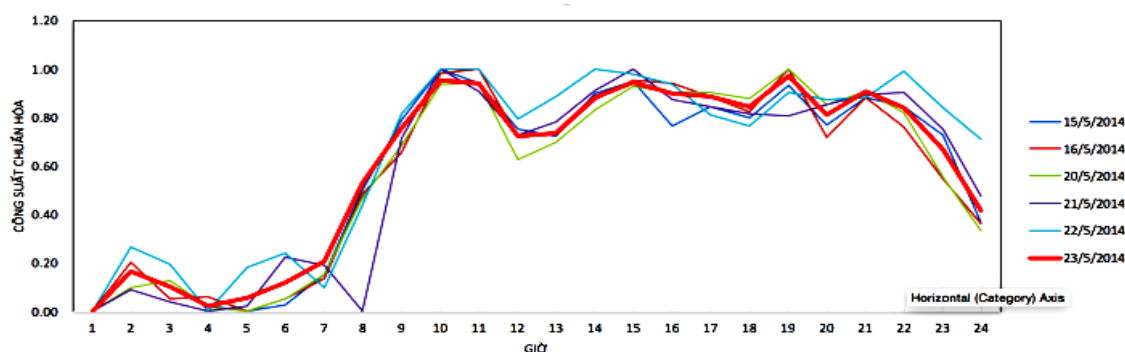
Số liệu để dự báo đỉnh và đáy phụ tải cho ngày 23/02/2014 có 2 thông số chịu ảnh hưởng của đơn vị khác (Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia): nhiệt độ lớn nhất trong ngày và nhiệt độ nhỏ nhất trong ngày. Tuy nhiên, để kiểm chứng sai số của thuật toán, chúng tôi không sử dụng nhiệt độ dự báo vào thời điểm đó mà sử dụng chính nhiệt độ thực tế để giảm bớt sai số ảnh hưởng bởi sai số dự báo nhiệt độ của đơn vị khác.

##### **4.5.2. Kết quả dự báo hình dáng đồ thị phụ tải**

Chúng tôi sử dụng số liệu phụ tải 24h của

5 ngày gần nhất cùng kiểu ngày với ngày 23/05/2014: từ ngày 15/05, 16/05, 20/05, 21/05 và 22/05 (ngày 19/05 không sử dụng vì là ngày sinh nhật Bác Hồ - phụ tải thay đổi bất thường). Hình 6 thể hiện hình dáng đồ thị phụ tải đã chuẩn hóa của 5 ngày này.

Hình dáng chuẩn hoá đồ thị phụ tải ngày 23/05/2014 được lấy theo giá trị trung bình của 4 ngày: 15/05, 16/05, 20/05, 22/05. Ngày 21/05 bị loại bỏ vì có một điểm khác lạ vào 8h khiến cho hình dáng đồ thị phụ tải không còn cùng kiểu ngày với 4 ngày còn lại.



Hình 6. Hình dáng chuẩn hóa của đồ thị phụ tải ngày 23/05/2014 dựa trên các ngày cùng kiểu gần nhất

#### 4.5.3. Kết quả dự báo phụ tải ngắn hạn 24h ngày 23/05/2014

Sau khi có được kết quả dự báo phụ tải đỉnh, đáy và hình dáng chuẩn hoá đồ thị

phụ tải, chúng tôi tiến hành quy đổi phụ tải theo công thức 1 để có được kết quả dự báo như sau:

Bảng 4. Kết quả dự báo phụ tải 24h của ngày 23/05/2014

| Ngày                 | $T_{min-1}$ | $T_{max-1}$ | $T_{min-7}$ | $T_{max-7}$ | $P_{min-1}$ | $P_{max-1}$ | $P_{min-7}$ | $P_{max-7}$ | $T_{min}$ | $T_{max}$ | $P_{min}$ dự báo | $P_{max}$ dự báo |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| 23/05/2014           | 28          | 38          | 26          | 34          | 1678        | 2323        | 1174        | 2126        | 29        | 37        | 1887             | 2402             |
| Thời điểm (h)        | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9         | 10        | 11               | 12               |
| Phụ tải dự báo (MW)  | 1887,0      | 1974,9      | 1942,0      | 1898,2      | 1916,3      | 1949,7      | 1997,3      | 2168,5      | 2288,7    | 2393,0    | 2388,3           | 2270,6           |
| Phụ tải thực tế (MW) | 1889,0      | 2010,7      | 1989,8      | 1931,0      | 1889,0      | 1915,1      | 1943,7      | 2164,5      | 2294,2    | 2437,0    | 2437,0           | 2328,6           |
| Thời điểm (h)        | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          | 19          | 20          | 21        | 22        | 23               | 24               |
| Phụ tải dự báo (MW)  | 2278,4      | 2355,6      | 2390,0      | 2365,6      | 2358,4      | 2336,6      | 2402,0      | 2317,8      | 2369,7    | 2333,3    | 2242,1           | 2109,6           |
| Phụ tải thực tế (MW) | 2366,3      | 2389,4      | 2356,6      | 2317,7      | 2247,0      | 2225,0      | 2382,0      | 2251,3      | 2312,4    | 2328,3    | 2303,8           | 2170,5           |

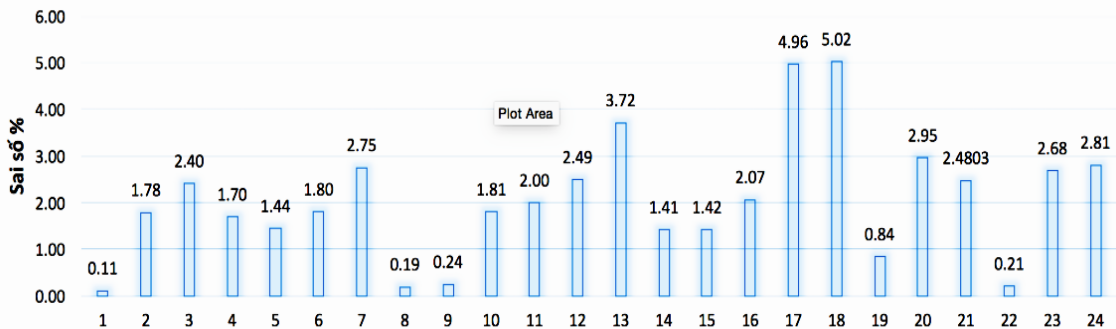
Với kết quả dự báo này, chúng ta có thể quan sát sai số giữa thực tế và dự báo theo đồ thị hình 7.

Nhận thấy, sau khi kết hợp 3 bước để dự báo hoàn chỉnh cho ngày cụ thể (23/05/2014), sai số lớn nhất 5,02% vào

lúc 18h, sai số nhỏ nhất 0,11% vào lúc 1h và sai số trung bình của ngày là 2,05%. Với sai số trung bình này, kết quả dự báo là có thể chấp nhận được và nằm trong phạm vi cho phép về sai số dự báo phụ tải ngày của Quy trình dự báo phụ tải điện

quốc gia. Các sai số lớn hay nhỏ xuất hiện không phụ thuộc giờ cao điểm hay thấp điểm. Biểu hình trong các giờ cao điểm buổi tối (18h-20h), sai số nhỏ nhất 0,84%

vào 19h và lớn nhất 5,02 vào 18h. Vì vậy, khả năng dự báo của thuật toán đề xuất không bị giới hạn bởi sự thay đổi đặc điểm phụ tải theo giờ.



Hình 7. Sai số dự báo so với thực tế phụ tải ngày 23/05/2014

## 5. KẾT LUẬN

Các kết quả so sánh cho thấy sai số khi thực thi BP cho kết quả dự báo tốt hơn so với khi sử dụng GA đơn giản được mô tả ở đây, tuy nhiên, sự sai khác là không đáng kể. Mặt khác, với cùng số bước lặp, thuật toán BP chạy nhanh hơn GA. Điều này chưa khẳng định được tính kém ưu việt của thuật toán vì thuật toán GA mới chỉ được xây dựng với các toán tử cơ bản với mục đích kiểm chứng thuật toán. Kết

quả dự báo có thể chấp nhận được ngày 23/05/2014 đã cho thấy khả năng có thể cải thiện hơn nữa của GA để áp dụng dự báo thực tế. Trong những nghiên cứu tới đây, nhóm tác giả sẽ cải thiện kết quả dự báo theo hướng áp dụng các thuật toán GA cải tiến hoặc một số thuật toán tiến hoá khác. Một hướng khác cũng rất khả quan là sử dụng hỗn hợp các thuật toán nhằm tối ưu hoá bộ trọng số cũng sẽ được kiểm chứng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.K. Phúc, N.T.P. Monique Polit, and L.T.T. Hà, "Mạng nơ ron - Dự báo phụ tải điện ngắn hạn ứng dụng tại Hà Nội, ảnh hưởng của các thông số thời tiết," *Tạp chí Tự động hoá ngày nay*, 2006.
- [2] T.K. Phúc, "Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo trong dự báo ngắn hạn phụ tải điện (giai đoạn 2)," *Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Công thương*, 2008.
- [3] C. Nghĩa, "Ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo dự báo phụ tải ngắn hạn hệ thống điện miền Bắc," *Luận văn thạc sĩ*, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2006.
- [4] R.F. Engle, C. Mustafa, and J. Rice, "Modelling peak electricity demand," *J. Forecast.*, vol. 11, no. 3, pp. 241-251, Apr. 1992.

- [5] O. Hyde and P.F. Hodnett, "An adaptable automated procedure for short-term electricity load forecasting," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 84–94.
- [6] S. Ruzic, A. Vuckovic, and N. Nikolic, "Weather sensitive method for short term load forecasting in Electric Power Utility of Serbia," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 4, pp. 1581–1586.
- [7] T. Haida and S. Muto, "Regression based peak load forecasting using a transformation technique," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 1788–1794.
- [8] J.Y. Fan and J.D. McDonald, "A real-time implementation of short-term load forecasting for distribution power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 988–994.
- [9] M.Y. Cho, J.C. Hwang, and C.S. Chen, "Customer short term load forecasting by using ARIMA transfer function model," in *Energy Management and Power Delivery, 1995. Proceedings of EMPD '95, 1995 International Conference on*, vol. 1, pp. 317–322 vol.1.
- [10] A.G. Bakirtzis, V. Petridis, S.J. Kiartzis, M.C. Alexiadis, and A.H. Maissis, "A neural network short term load forecasting model for the Greek power system," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 858–863.
- [11] A. Papalexopoulos and T. Hesterberg, "A regression-based approach to short-term system load forecasting," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 5, no. 4, pp. 1535–1547.
- [12] A. Khotanzad, R. Afkhami-Rohani, T.L. Lu, A. Abaye, M. Davis, and D.J. Maratukulam, "ANNSTLF-a neural-network-based electric load forecasting system," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 8, no. 4, pp. 835–846.
- [13] T. W. S. Chow and C. T. Leung, "Nonlinear autoregressive integrated neural network model for short-term load forecasting," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 143, no. 5, pp. 500–506.
- [14] M. L. M. Lopes, C. R. Minussi, and A. D. P. Lotufo, "Electric load forecasting using a fuzzy ART&ARTMAP neural network," *Appl. Soft Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 235–244, Jan. 2005.
- [15] T. Worawit and C. Wanchai, "Substation short term load forecasting using neural network with genetic algorithm," in *TENCON '02. Proceedings. 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering*, vol. 3, pp. 1787–1790 vol.3.
- [16] N.K. Singh, A.K. Singh, and P. Kumar, "PSO optimized radial basis function neural network based electric load forecasting model," in *Power Engineering Conference (AUPEC), 2014 Australasian Universities*, pp. 1–6.
- [17] N. Lu and J. Zhou, "Particle Swarm Optimization-Based RBF Neural Network Load Forecasting Model," in *Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific*, pp. 1–4.
- [18] Z. Caiqing, L. Ming, and T. Mingyang, "BP Neural Network Optimized with PSO Algorithm for Daily Load Forecasting," in *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2008. ICIII '08. International Conference on*, vol. 3, pp. 82–85.
- [19] F.J. Marin, F. Garcia-Lagos, G. Joya, and F. Sandoval, "Global model for short-term load forecasting using artificial neural networks," *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 149, no. 2, p. 121, 2002.

- [20] D. Whitley, T. Starkweather, and C. Bogart, "Genetic algorithms and neural networks: optimizing connections and connectivity," *Parallel Comput.*, vol. 14, no. 3, pp. 347-361, 1990.
- [21] D.J. Montana and L. Davis, "Training Feedforward Neural Networks Using Genetic Algorithms," in *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume 1*, 1989, pp. 762-767.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Phạm Mạnh Hải bảo vệ Luận án tiến sĩ ngành hoá hữu cơ ứng dụng-plasma cho năng lượng. Tác giả đang công tác tại Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: thuật toán tối ưu, dự báo phụ tải điện, năng lượng tái tạo, độ tin cậy trong hệ thống điện.



Tác giả Vũ Thị Anh Thơ bảo vệ Luận án tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Grenoble, Pháp. Tác giả đang công tác tại Khoa Kỹ thuật điện - Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: vật liệu điện, tự động hoá hệ thống điện, dự báo phụ tải điện.



tác giả Phạm Văn Duy tốt nghiệp thạc sĩ tại Viện đại học Mở Hà Nội chuyên ngành kỹ thuật điện tử. Tác giả đang công tác tại Trung tâm Năng lượng mới và tái tạo - Viện khoa học Năng lượng - chuyên ngành năng lượng tái tạo.