

ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT THÔNG MINH VÀO GIÁM SÁT VÀ ĐIỀU KHIỂN NGUỒN CHO TRẠM BTS

Nguyễn Quang Duy^{1*}, Nguyễn Đình Luyện¹, Nguyễn Văn Tuấn²

¹Trường Đại học Quy Nhơn,
²Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng

TÓM TẮT

Quản lý nguồn cho các trạm BTS nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và bảo đảm tính liên tục của nguồn cung cấp là một bài toán mang tính cấp thiết và phức tạp; hiện có thể được thực hiện theo phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp. Tuy nhiên phương pháp trực tiếp yêu cầu cần có các công nghệ lõi nên khó có thể sử dụng và khai thác được các công nghệ này. Do vậy, với điều kiện thực tế của nước ta hiện nay, bài báo tiếp cận phương pháp gián tiếp, theo đó, nhóm tác giả đề xuất giải thuật thông minh để giám sát và điều khiển nguồn cho các trạm BTS trên cơ sở phân tích số liệu thu được về công suất tiêu thụ và lưu lượng sử dụng của mạng 2G, 3G và 4G tại các trạm này.

Từ khóa: quản lý nguồn; BTS; 2G; 3G; 4G; giải thuật thông

Ngày nhận bài: 15/5/2019; Ngày hoàn thiện: 28/6/2019; Ngày đăng: 26/7/2019

APPLICATION OF SMART ALGORITHM TO MONITOR AND CONTROL THE SOURCE OF BASE TRANSCIEVER STATION

Nguyen Quang Duy^{1*}, Nguyen Dinh Luyen¹, Nguyen Van Tuan²

¹Quy Nhon University,
²Danang University of Science and Technology

ABSTRACT

Power management for Base Transceiver Station (BTS) to improve energy efficiency and ensure source supplying continuity is an urgent and complex problem. It can be done by directly or indirectly methods. Direct method requires core technologies, making it difficult to use and exploit them in Vietnam. Therefore, with the current conditions in our country, indirect method is the better one to approach power management in which a smart algorithm was proposed to monitor and control the source based on collected data about power consumption and used information flow of 2G, 3G and 4G networks at these BTS.

Keywords: source management; BTS; 2G, 3G; 4G; smart algorithm

Received: 15/5/2019; Revised: 28/6/2019; Published: 26/7/2019

* Corresponding author. Email: nqduy@ftt.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Hiện nay các nghiên cứu về việc tối ưu năng lượng sử dụng của các trạm thu phát gốc BTS trong thông tin di động có thể theo 2 hướng. Hướng thứ nhất được nghiên cứu tại các nước phát triển, thường tập trung vào các công nghệ lõi như sử dụng công nghệ vật liệu bán dẫn mới, nhằm chế tạo các linh kiện có hiệu suất cao và tiết kiệm năng lượng trong bộ khuếch đại công suất vô tuyến, cải thiện hiệu suất bức xạ của Anten, Anten thông minh, giảm suy hao cáp dẫn sóng... [1].

Trong bài báo này chúng tôi thực hiện nghiên cứu theo hướng thứ hai để tối ưu năng lượng sử dụng cho các trạm BTS. Cơ sở toán học được đưa ra trong phương pháp này là lưu lượng thông tin có mối quan hệ tuyến tính với sự tiêu thụ nguồn của trạm phát sóng. Bài báo sẽ chứng minh mối quan hệ tuyến tính này, qua đó đề xuất một giải thuật quản lý nguồn thông minh cho trạm BTS.

2. Phân tích dữ liệu và chứng minh

Số liệu thực hiện trong bài báo được thu thập từ các trạm BTS của Công ty Viễn thông Viettel [2].

Mục tiêu đầu tiên của bài báo là chứng minh sự phụ thuộc tuyến tính của lưu lượng (gọi tắt là Erl) với công suất tiêu thụ (gọi tắt là P_w) tại trạm BTS, đồng thời tìm ra một phương trình có thể biểu diễn được mối quan hệ đó.

Trước hết, cần phải kiểm tra xem giữa công suất tiêu thụ và lưu lượng có quan hệ gì với nhau không? Để thực hiện điều này, cần xác định hệ số tương quan Pearson.

2.1. Xác định hệ số tương quan Pearson

Để có thể tính được hệ số tương quan này dữ liệu cần phải thỏa điều kiện hai nhóm dữ liệu tuân theo phân phối chuẩn.

Hệ số tương quan được tính theo công thức:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

và kết quả thu được khi tính toán hệ số tương quan bằng R [3] trên 2 nhóm dữ liệu như sau:

```
> cor.test(mydata.CS2,mydata.ERLVT2)
```

```
    Pearson's product-moment correlation
```

```
data: mydata.CS2 and mydata.ERLVT2
```

```
t = 15.613, df = 22, p-value = 2.189e-13
```

```
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
```

```
95 percent confidence interval:
```

```
0.9032983 0.9818031
```

```
sample estimates:
```

```
cor
```

```
0.9577154
```

Từ kết quả thu được, có thể đi đến các kết luận sau:

- Mối liên hệ giữa P_w và Erl có ý nghĩa thống kê - Hệ số $cor = 0,9577154 \approx 1 (cor > 0)$ chứng tỏ giữa P_w và Erl có quan hệ tuyến tính tỉ lệ thuận rất cao.

Hệ số tương quan Pearson cho biết mức độ tương quan giữa hai biến số P_w và Erl, nhưng không đưa ra được một phương trình để nối hai biến số đó lại với nhau. Do đó vấn đề đặt ra tiếp theo là phải tìm một phương trình tuyến tính để mô tả mối quan hệ đó, để làm được điều này mô hình

tích hồi quy tuyến tính sẽ được sử dụng.

2.2. Phân tích hồi quy tuyến tính

Phân tích hồi quy tuyến tính là một trong những phương pháp phân tích dữ liệu thông dụng nhất trong thống kê học. Mục đích của phương pháp này là ước lượng hệ số hồi quy tuyến tính với giả thuyết X, Y là các biến ngẫu nhiên độc lập, giữa chúng có tương quan tuyến tính:

$$E(Y | X) = \alpha X + \beta, (\alpha \neq 0) \tag{2}$$

α, β được gọi là các hệ số hồi quy lý thuyết.

Từ các mẫu dữ liệu $(x_1, y_1), \dots, (x_{24}, y_{24})$ với 24 mẫu của (X, Y) ta có:

$$E(y_i | x_i) = \alpha x_i + \beta \tag{3}$$

hay (3) có thể được viết lại:

$$y_i = \alpha x_i + \beta + \varepsilon_i \tag{4}$$

với ε_i là sai số ngẫu nhiên và để có thể đơn giản trong bước xác định các hệ số của phương trình (4), sai số ε_i sẽ tạm được bỏ qua. Sau khi các hệ số đã được xác định, bước tiếp theo sẽ quay trở lại kiểm định ε_i để nhằm làm rõ và tăng độ tin cậy của kết luận.

Trong bài báo, ký hiệu Y là công suất tiêu thụ (ký hiệu là P_w) và X là lưu lượng sử dụng (ký hiệu là Erl) tại trạm BTS. Vấn đề đặt ra là từ các mẫu dữ liệu $(x_1, y_1), \dots, (x_{24}, y_{24})$ cần ước lượng các hệ số α, β sao cho sai lệch giữa các giá trị quan sát $y_i \in Y$ và $\hat{y}_i = \alpha x_i + \beta$ là nhỏ nhất. Để làm điều này, phương pháp bình phương tối thiểu sẽ được sử dụng:

Đặt $F(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha x_i - \beta)^2$, hai số α, β sẽ được chọn để ước lượng tìm ra:

$$\min F(\alpha, \beta) \tag{5}$$

Để tìm cực tiểu của $F(\alpha, \beta)$ cần phải giải hệ sau:

$$\begin{cases} \frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha x_i - \beta) x_i = 0 \\ \frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha x_i - \beta) = 0 \end{cases} \tag{6}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \alpha + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \beta = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \alpha + n \beta = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

Đây là phương trình tuyến tính bậc nhất đối với α, β . Giải phương trình được kết quả như sau:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \\ \beta = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \alpha \sum_{i=1}^n x_i}{n} \end{cases} \tag{7}$$

α, β được gọi là hệ số hồi quy của Y theo X, đường thẳng có phương trình $y = \alpha x + \beta$ được gọi là đường thẳng hồi quy.

Trong bài báo này, khi sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính chúng tôi đã tính ra được: $\alpha = 10,8534$ và $\beta = 1167,3609$ từ công thức (7) với $n = 24$.

$$y = 10,8534x + 1167,3609 \tag{8}$$

Ngoài ra khi phân tích bằng ngôn ngữ R cho kết quả như sau:

<i>Call:</i>				
<i>lm(formula = CS2 ~ ERLVT2)</i>				
<i>Residuals:</i>				
<i>Min</i>	<i>1Q</i>	<i>Median</i>	<i>3Q</i>	<i>Max</i>
-40.537	-8.482	0.535	7.417	29.223
<i>Coefficients:</i>				
	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t value</i>	<i>Pr(> t)</i>

(Intercept) 1167.3609 5.7793 201.99 < 2e-16

ERLVT2 10.8534 0.6952 15.61 2.19e-13

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.95 on 22 degrees of freedom

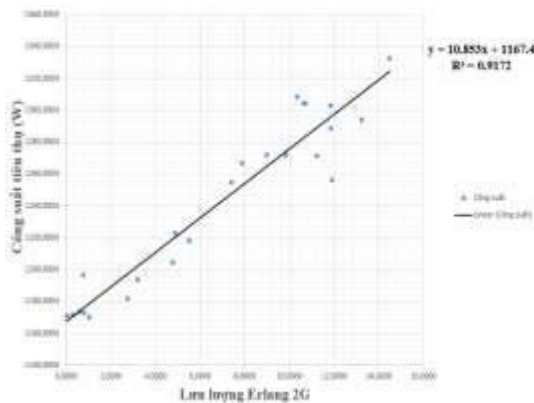
Multiple R-squared: 0.9172, Adjusted R-squared: 0.9135

F-statistic: 243.8 on 1 and 22 DF, p-value: 2.189e-13

Giải thích các kết quả trên:

1. Số trung vị thu được là 0,535 không xa 0 bao nhiêu (trường hợp bằng 0 là lý tưởng trong phân phối chuẩn chuẩn tắc). Các số quantiles 25% (1Q) và 75% (3Q) cũng khá cân đối xung quanh số trung vị, cho thấy phần dư của phương trình này tương đối cân đối.

2. Trị số R^2 (hệ số xác định bội) = 0,9172, cho thấy rằng có một mối liên hệ chặt chẽ giữa P_w và Erl tại trạm BTS.



Hình 1. Đồ thị của phương trình (8)

Với kết quả này, hoàn toàn có đủ điều kiện để khẳng định rằng giữa P_w và Erl có quan hệ phụ thuộc tuyến tính với nhau [4][5]. Tuy nhiên, khi sử dụng phương pháp này để tìm ra các hệ số α, β , nhóm tác giả đã giả sử bỏ qua hệ số ε_i trong phương trình (4). Các hệ số α, β là các hệ số hồi quy lý thuyết, nghĩa là giữa các điểm (x_i, y_i) thực tế biểu diễn trên đồ thị, với đường thẳng $y = \alpha x + \beta$ lý thuyết có một sự sai lệch, đó là lý do xuất hiện hệ số ε_i .

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$$

với: $y_i \in Y$ theo dữ liệu thu thập được

\hat{y}_i là giá trị lý thuyết tính từ phương trình (8) cho mỗi $x_i \in X$

Theo lý thuyết về hồi quy tuyến tính, hệ số ε_i phải thỏa mãn các điều kiện của giả thuyết Gauss-Markov, cụ thể ε_i phải thỏa các điều kiện sau:

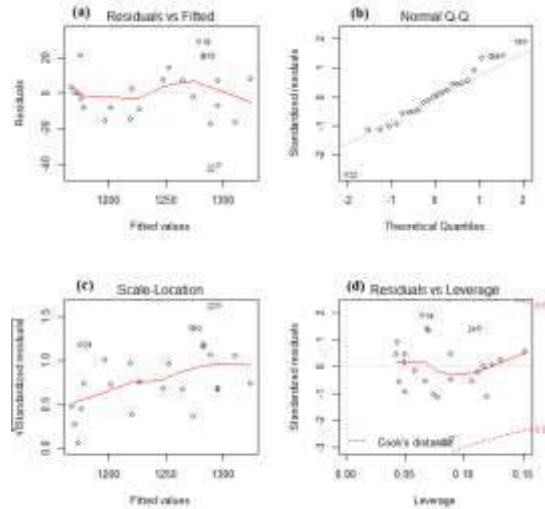
- i) ε_i phân phối theo luật phân phối chuẩn
- ii) ε_i có giá trị trung bình (mean) là 0
- iii) ε_i có phương sai cố định
- iv) các giá trị liên tục của ε_i không có liên hệ tương quan với nhau

Để kiểm định ε_i thỏa các điều kiện trên ngôn ngữ R được sử dụng và thu được các đồ thị như hình 2.

Các đồ thị trên hình 2 được phân tích như sau:

- 1. Đồ thị 2(a) vẽ phần dư ε_i và giá trị tiên đoán công suất tiêu thụ \hat{y} . Đồ thị này cho thấy các giá trị phần dư tập trung quanh đường $y = 0$, cho nên giả định (ii), hay ε_i có giá trị trung bình 0, là có thể chấp nhận được.
- 2. Đồ thị 2(b) vẽ giá trị phần dư và giá trị kỳ vọng dựa vào phân phối chuẩn. Có thể thấy các số phần dư tập trung rất gần các giá trị trên đường chuẩn, và do đó giả định (i), tức là ε_i phân phối theo luật phân phối chuẩn, cũng có thể đáp ứng.
- 3. Đồ thị 2(c) vẽ căn số phần dư chuẩn và giá trị của \hat{y} . Đồ thị này cho thấy không có gì khác nhau giữa các số phần dư chuẩn cho các

giá trị của \hat{y} và do đó, giả định (iii), tức ε_i có phương sai σ^2 cố định cho tất cả x_i , cũng được đáp ứng.



Hình 2. Kết quả phân tích phần dư

Qua phân tích phần dư, có thể kết luận rằng mô hình hồi quy tuyến tính mô tả liên hệ giữa công suất tiêu thụ và lưu lượng sử dụng một cách khá đầy đủ và hợp lý.

Từ phương trình (8) đi đến kết luận rằng, công suất tiêu thụ tại một trạm BTS không bao giờ bằng 0, hay nói cách khác là luôn tồn tại một mức công suất ngưỡng dưới cho các trạm BTS và trong trường hợp này $P_{\min} = 1167,3609(W)$, đây chính là cơ sở để xây dựng nên lưu đồ thuật toán điều khiển hòa điện.

Khi đã tìm ra được giá trị công suất nhỏ nhất tại trạm, việc tiếp theo cần làm là đưa ra được một giải thuật sử dụng nguồn hợp lý với mục tiêu cuối cùng là hạn chế tối đa việc sử dụng nguồn điện lưới quốc gia, mà thay vào bằng các nguồn năng lượng tái tạo dự phòng, hoặc cũng có thể sử dụng chung 2 nguồn này hòa với nhau. Vậy để làm được điều này, bước tiếp theo là phải giải quyết bài toán hòa đồng bộ.

3. Cơ sở lý thuyết hòa đồng bộ

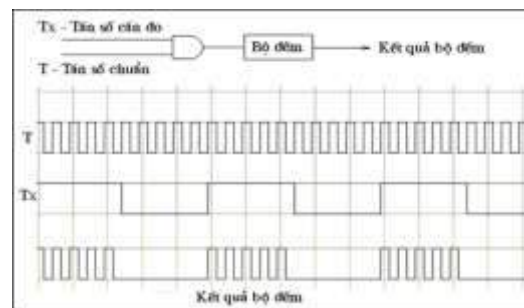
Trong một hệ thống điện, các máy phát điện đồng bộ có thể làm việc song song để nâng cao công suất lưới điện, điều này đòi hỏi các máy phát phải hội đủ một số yêu cầu cơ bản sau:

- + Tần số dòng điện phát ra của các máy phát phải bằng nhau
- + Góc lệch pha tương đối giữa các roto không được vượt quá một giới hạn cho phép.
- + Điện áp ở đầu cực các máy phát phải gần bằng nhau

Hiện nay, trong kỹ thuật hòa điện có 2 cách: Hòa điện chính xác và tự hòa điện. Trong thực tế vận hành đối với các nguồn phát điện nhỏ, thường sử dụng phương pháp hòa điện chính xác. Trong bài báo chúng tôi cũng sẽ sử dụng phương pháp này để thực hiện hòa điện đồng bộ giữa các nguồn cung cấp với nhau.

Để có thể thực hiện hòa điện, cần phải thỏa mãn 3 điều kiện về: tần số, điện áp và góc lệch pha. Có rất nhiều phương pháp để xác định các đại lượng này, nhưng bằng kỹ thuật vi xử lý có thể thực hiện các phép đo sau:

Đo tần số: phương pháp này có thể thực hiện bằng cách đếm số chu kỳ của tín hiệu cần đo trong một thời gian xác định (đếm tần số). Hoặc cũng có thể đếm số chu kỳ của một tín hiệu chuẩn đã biết trong 1 chu kỳ tín hiệu cần đo (đo chu kỳ). [6]



Hình 3. Nguyên lý thực hiện phương pháp đo chu kỳ

Đối với vi xử lý có thể sử dụng cấu trúc Counter/Timer để thực hiện hai phương pháp đếm tần số và đo chu kỳ. Dải tần số dòng điện công nghiệp hiện nay là từ 0 – 50 Hz, lựa chọn phương pháp đo chu kỳ sẽ cho kết quả chính xác và thời gian đo lường ngắn hơn.

Đo điện áp: Phương pháp đo điện áp được sử dụng là dựa trên sự số hóa giá trị cần đo bằng mạch ADC. Số đọc được tại ngõ ra của bộ ADC được coi là tuyến tính đối với điện áp vào, điều này cho phép sử dụng vi xử lý để tính giá trị điện áp [6].

Đo góc lệch pha: Để so sánh pha của tín hiệu, cụ thể là pha của hai điện áp, thông thường phương pháp tách điểm “0” sẽ được sử dụng. Mạch tách điểm “0” thông thường là mạch so sánh với điện áp “0” vôn, mạch này có nhiệm vụ thay đổi điện áp ngõ ra khi điện áp ngõ vào biến đổi qua giá trị “0”. [6]

4. Xây dựng giải thuật và phần cứng điều khiển

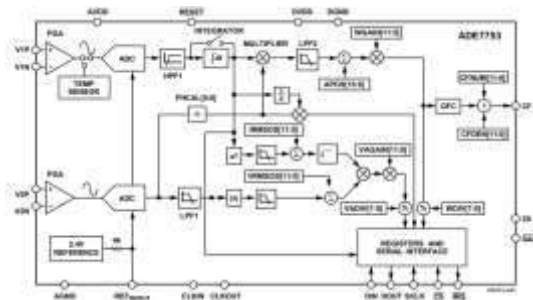
4.1. Phần cứng dùng để đo đạt các thông số cần thiết

Với các điều kiện để thực hiện hòa đồng bộ và các phương pháp đo được nêu trên, sẽ là không phù hợp để thực hiện các mạch đo riêng lẻ. Vì các mạch này cho độ chính xác không thật sự tốt và độ trễ lớn khi vi xử lý nhận được các giá trị mong muốn.

Hiện nay, với sự tiến bộ của Khoa học Kỹ thuật, các hệ thống được thiết kế tích hợp trên chip (SoC) đã trở nên phổ biến và được ứng dụng rất rộng rãi trong tất cả các lĩnh vực của đời sống, ADE7753 là một chip như vậy.

ADE7753 là sản phẩm của hãng Analog Devices, sai số trong phép đo là 0,1% [7]. Chức năng của nó là đọc các tín hiệu xoay chiều đầu vào (điện áp, dòng điện) và tính toán ra các giá trị như: tần số, điện áp của nguồn điện cung cấp; dòng tiêu thụ, công suất của các thiết bị tiêu thụ điện [8].

ADE7753 là sự lựa chọn hợp lý để có thể tính toán được các giá trị của các nguồn cung cấp, cần thiết cho việc hòa điện. Về cấu tạo ADE7753 có 2 kênh dòng và áp riêng biệt:



Hình 4. Sơ đồ khối của ADE7753 với kênh dòng và áp riêng biệt

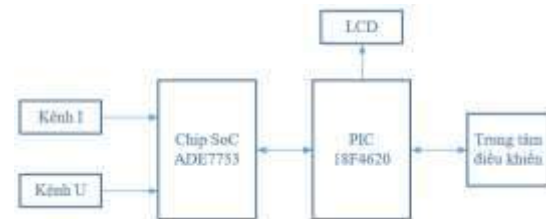
Các mạch đo các thông số cần thiết của nguồn điện sẽ được xây dựng dựa trên chip ADE7753 này [9]. Trên mạch sử dụng một

chip vi điều khiển của hãng Microchip là PIC18F4620, để nhận các giá trị từ ADE7753, tính toán và gửi về cho “Trung tâm điều khiển”.

Các mạch đo này được xây dựng theo một khuôn mẫu chung ngay từ đầu, nhưng sẽ phải thực hiện hai nhiệm vụ khác nhau:

+ Đo công suất tiêu thụ của các thiết bị có trong trạm BTS.

+ Đo các giá trị cần thiết cho việc thực hiện hòa điện đồng bộ từ các nguồn cung cấp khác nhau.



Hình 5. Sơ đồ khối mạch đo điện áp, dòng điện, tần số, điện năng

4.2. Giải thuật trên máy tính xử lý các thông số đã có

Tất cả các thông tin cần thiết sau khi đo sẽ được gửi về “Trung tâm điều khiển” là một phần mềm được lập trình chạy trên một computer. Phần mềm được lập trình có chức năng ghi nhận các giá trị được gửi về từ các mạch đo, sử dụng giải thuật được cài đặt sẵn để ra quyết định có nên hòa/hoặc không hòa điện từ các nguồn cung cấp khác nhau.

Mục đích của việc quyết định hòa/hoặc không hòa điện là nhằm giảm sự tiêu thụ điện từ nguồn điện lưới quốc gia, nhưng vẫn phải đảm bảo độ ổn định cho các thiết bị trong trạm BTS hoạt động tốt.



Hình 6. Giao diện phần mềm điều khiển trung tâm

Các trạm BTS hiện nay không bao giờ hoạt động 100% công suất 24/24 giờ, vì có những khoảng thời gian lưu lượng sử dụng của người dùng giảm xuống (ví dụ vào khoảng thời gian đêm khuya tới rạng sáng hôm sau). Trong khoảng thời gian này không cần thiết phải tiêu thụ nhiều năng lượng cho các thiết bị trong trạm BTS, vậy “Trung tâm điều khiển” sẽ tự động nhận biết được lượng công suất tiêu thụ giảm trong khoảng thời gian đó qua các giá trị nhận được từ các mạch đo, từ đó ra quyết định cắt giảm bớt nguồn điện lưới quốc gia đồng thời hòa các nguồn điện tại chỗ vào (gọi chung là các nguồn cung cấp khác). Ngược lại khi nhận thấy rằng công suất tiêu thụ của thiết bị trong trạm BTS đang tăng lên trở lại (chẳng hạn bắt đầu từ buổi sáng trở đi hay thời điểm bất kỳ nào trong ngày), “Trung tâm điều khiển” sẽ ra quyết định tăng nguồn cung cấp từ lưới điện quốc gia và giảm nguồn điện tại chỗ vì nguồn điện lưới quốc gia cung cấp điện ổn định hơn cho trạm BTS khi công suất tiêu thụ của trạm này lớn.



Hình 7. Giải thuật quản lý nguồn tại các trạm BTS

5. Kết luận

Bài báo đã chứng minh được mối quan hệ tuyến tính giữa công suất nguồn tiêu thụ và lưu lượng sử dụng tại trạm BTS (bao gồm cả kiểm định giá trị ε_i), đưa ra được giải thuật điều khiển phân phối nguồn hợp lý cho trạm BTS trong thời gian lưu lượng cao thấp khác nhau. Với việc áp dụng các phần cứng và phần mềm một cách phù hợp, bài báo đã đưa ra hướng xử lý cho việc giám sát, điều khiển nguồn tự động cho các trạm BTS. Ngoài tính năng tự động thay đổi nguồn cung cấp, phần mềm còn có chức năng chạy mô phỏng với các mức ngưỡng công suất khác nhau trước khi ra quyết định có hòa điện hay không. Việc ứng dụng phương pháp quản lý nguồn này vào thực tế sẽ giúp giảm được chi phí tiền điện và chi phí quản lý bằng nhân công như hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lorincz J. et al, “Measurements and modeling of base station power consumption under real traffic loads, *Sensors*”. 12(4), pp. 4281-4310, 2012.
- [2]. Nguyễn Đình Luyện, Nguyễn Thị Lan Hương, Nguyễn Việt Tùng, “Khảo sát phụ tải điện của trạm BTS nhằm tối ưu hóa sử dụng điện năng”, *Chuyên san Điều khiển và Tự động hóa*, số 14, 12/2015, pp. 47-52, 2015.
- [3]. Nguyễn Văn Tuấn, *Phân tích dữ liệu với R*, Nxb Tổng hợp TP. Hồ Chí Minh, 2017.
- [4]. James D. Gadze, Sylvester B. Aboagye, Kwame A. P. Agyekum, “Real Time Traffic Base Station Power Consumption Model for Telcos in Ghana”, *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, Vol. 7, Issue 5, July 2016, pp. 6-13, 2016.
- [5]. Madhu Sudan Dahal, Shree Krishna Khadka, Jagan Nath Shrestha, Shree Raj Shakya, “A Regression Analysis for Base Station Power Consumption under Real Traffic Loads – A Case of Nepal”, *American Journal of Engineering Research*, Vol. 4, Issue 12, pp. 85-90, 2015.
- [6]. Nguyễn Đình Luyện, Nguyễn Quang Duy, Ngô Văn Tâm, Nguyễn Đức Kiên, “Thiết kế hệ thống tự động hòa đồng bộ và điều khiển nguồn dự phòng thông minh cho các trạm thu phát gốc BTS/NODEB của viễn thông di động”, *Tạp chí khoa học Trường Đại học Quy Nhơn*, Số 2, Tập IX, 2015.

- [7]. Datasheet ADE7753, <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf>, truy cập lần cuối lúc 09:41 27/08/2018.
- [8]. Nguyễn Đình Luyện, Nguyễn Quang Duy, Ngô Văn Tâm, “Nghiên cứu các tính năng ADE7753 để thiết kế mạch đo dòng điện, điện áp, tần số, điện năng áp dụng vào hệ thống giám sát và điều khiển nguồn thông minh cho trạm BTS”, *Tạp chí khoa học Trường Đại học Quy Nhơn*, S. 4, T. VIII, 2014.
- [9]. Nguyễn Đình Luyện, Nguyễn Thị Lan Hương, Nguyễn Việt Tùng, Nguyễn Quang Duy, “Hệ thống hạ tầng giám sát phụ tải ứng dụng trong khảo sát tiêu thụ điện của hộ gia đình”, *Hội nghị Khoa học Kỹ thuật toàn quốc lần thứ VI, Tuyển tập báo cáo khoa học*, 2015.