

MỘT PHƯƠNG PHÁP MỚI XÁC ĐỊNH ĐỘ DÀI BỘ LỌC VÀ KÍCH THƯỚC BƯỚC BỘ LỌC THÍCH NGHI

A METHOD TO SPECIFY THE FILTER LENGTH AND STEP-SIZE OF THE ADAPTIVE FILTER

Nguyễn Thế Vinh¹, Lê Mạnh Hùng², Võ Huy Hoàn³

^{1,2}Viện Nghiên cứu điện tử, tin học, tự động hóa; ³Trường Đại học Điện lực

Tóm tắt:

Bài báo trình bày về một phương pháp để xác định độ dài và kích thước bước của bộ lọc thích nghi LMS. Cơ sở để lựa chọn độ dài bộ lọc và kích thước bước dựa trên các chỉ số đánh giá hiệu năng của bộ lọc: hệ số tín hiệu trên nhiễu và hệ số tương quan giữa tín hiệu trước với tín hiệu sau khi lọc. Cuối bài báo là một ví dụ về khử nhiễu lưới điện cho tín hiệu điện tim sử dụng bộ lọc thích nghi với thuật toán LMS, trong đó việc lựa chọn độ dài bộ lọc L và kích thước bước μ được thực hiện theo phương pháp đề xuất.

Từ khóa:

Bộ lọc thích nghi, thuật toán LMS, độ dài bộ lọc, kích thước bước.

Abstract:

A method to specify the filter length and step-size of the LMS adaptive filter is reported. The base to determine the filter length and the step-size is on evaluating the performance indices of the filter: signal to noise ratio, correlation coefficient between the input signal and the output signal of the filter. The end of the paper is an example about noise reduction for ECG using adaptive filter with LMS algorithm, in which the selection of the filter length L and step size μ is performed according to the proposed method.

Key words:

Adaptive filter, LMS algorithm, filter length, step-size.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong hệ thống hay những thiết bị thực tế, tùy vào ứng dụng và những điều kiện cụ thể mà người ta áp dụng các kỹ thuật phù hợp cho việc xử lý tín hiệu. Những ứng dụng khử nhiễu tác động lên tín hiệu, trong đó nhiều “chiếm lĩnh” những dải tần

cố định hoặc tách biệt hoàn toàn với dải tần của tín hiệu thì các bộ lọc với đáp ứng biên tần cố định như FIR, IIR hay bộ lọc trung bình dịch chuyển được sử dụng tương đối hiệu quả vì tính đơn giản của chúng. Bên cạnh đó, ta gặp không ít các bài toán khử nhiễu trong thực tế mà phổ tần của nhiễu không những biến thiên theo thời gian mà còn bao trùm hoặc nằm trong phổ tần của tín hiệu, lọc nhiễu lưới điện tác động tới tín hiệu điện tim là một

Ngày nhận bài: 3/3/2016, ngày chấp nhận
đăng: 3/10/2016, phản biện: TS. Mai Hoàng
Công Minh.

ví dụ. Với những lớp bài toán đó, bộ lọc thích nghi nên được sử dụng để có được tín hiệu cung cấp tới người dùng với chất lượng đảm bảo. Về cơ bản, bộ lọc thích nghi là một bộ lọc số (digital filter) mà có thể tự điều chỉnh các hệ số bộ lọc của nó nhằm đưa ra tín hiệu sau khi lọc có chất lượng tốt nhất trên cơ sở các tín hiệu và nhiễu đầu vào nhờ thuật toán thích nghi. Một trong những thuật toán được áp dụng phổ biến trong bộ lọc thích nghi là trung bình bình phương nhỏ nhất LMS do Widrow và các cộng sự đề xuất [1]. Mặc dù, LMS là một thuật toán thích nghi được áp dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau nhưng nó cũng có những hạn chế nhất định. Ngoài vấn đề không cân bằng được tốc độ hội tụ và tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR sau khi lọc mà đã được phân tích trong ([1]-[11]), thuật toán LMS còn một hạn chế khác, đó là không chỉ ra việc lựa chọn độ dài bộ lọc “phù hợp” với kích thước bước. Trong nội dung tiếp theo của bài báo, một phương pháp thực nghiệm được trình bày cho thấy mối quan hệ giữa các chỉ số đánh giá hiệu năng của bộ lọc

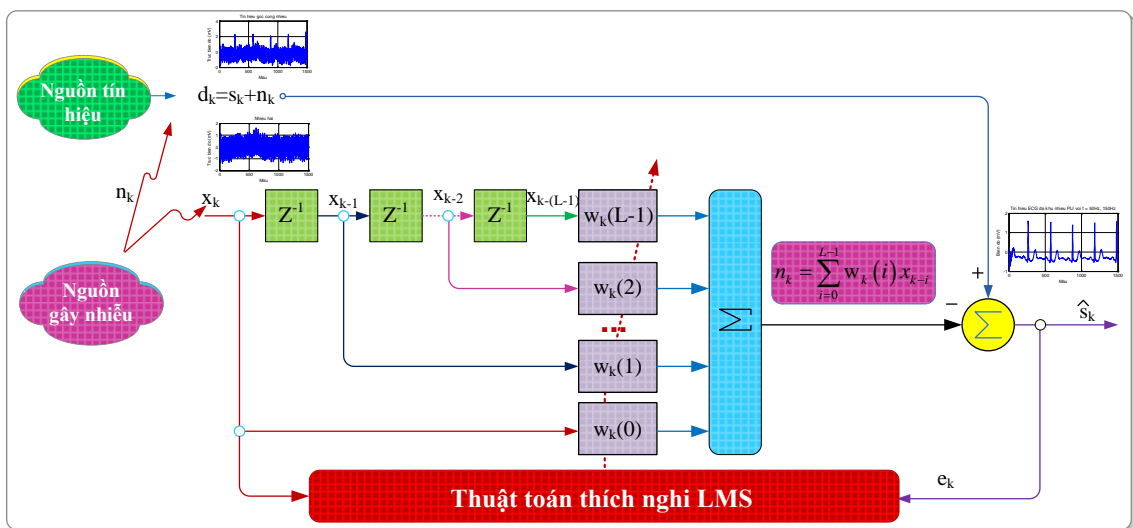
(gồm hệ số tín hiệu trên nhiễu và hệ số tương quan giữa tín hiệu trước với tín hiệu sau khi lọc) với độ dài bộ lọc và kích thước bước, từ mối quan hệ đó, sẽ giúp ta xác định được các thông số cần thiết trong quá trình thiết kế bộ lọc thích nghi, đó là độ dài và kích thước bước của bộ lọc thích nghi LMS.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ BỘ LỌC THÍCH NGHI

2.1. Cơ bản về bộ lọc thích nghi

Sơ đồ khối của bộ lọc thích nghi được trình bày như trong hình 1, cho thấy một bộ lọc thích nghi bao gồm hai phần cơ bản: bộ lọc số với các hệ số có thể điều chỉnh được và một thuật toán thích nghi (trong phạm vi bài báo ta sử dụng thuật toán thích nghi LMS) có nhiệm vụ điều chỉnh các hệ số của bộ lọc số.

Hai tín hiệu đầu vào d_k và x_k được lấy mẫu “đồng thời” và “liên tục”. Tín hiệu d_k bao gồm cả tín hiệu mong muốn s_k và nhiễu n_k .



Hình 1. Sơ đồ khối bộ lọc thích nghi

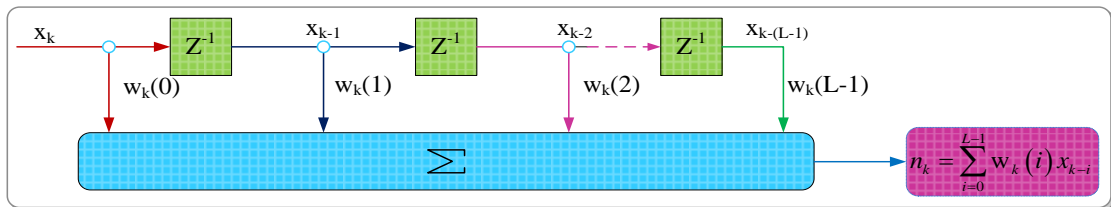
Vì nguồn gây nhiễu và nguồn tín hiệu khác nhau và độc lập nên ta giả thiết s_k và n_k không tương quan với nhau. Tín hiệu x_k là giá trị đo của nhiễu, tương quan với nhiễu n_k . Nhiễu x_k được xử lý bởi bộ lọc số để tạo ra một ước lượng của n_k , ký hiệu là \hat{n}_k . Khi đó, ước lượng của tín hiệu mong muốn được nhận bằng cách trừ \hat{n}_k cho ước lượng của nhiễu n_k theo phương trình (1):

$$s_k = d_k - \hat{n}_k = s_k + n_k - \hat{n}_k. \quad (1)$$

Nhiệm vụ chính trong việc khử nhiễu là tạo ra một ước lượng tối ưu của nhiễu n_k trong tín hiệu d_k và khi đó ta sẽ có được một ước lượng tối ưu của tín hiệu mong

muốn. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng tín hiệu phản hồi s_k để điều chỉnh các hệ số của bộ lọc số bởi một thuật toán thích nghi phù hợp. Tín hiệu đầu ra s_k đảm nhiệm cùng lúc hai nhiệm vụ: (1) như một ước lượng của tín hiệu mong muốn và (2) như một tín hiệu sai số e_k dùng để điều chỉnh các hệ số bộ lọc. Cấu trúc thường được sử dụng để thực hiện các bộ lọc thích nghi là cấu trúc ngang (transversal structure), được mô tả trong hình 2. Với bộ lọc có độ dài L hệ số, ta có đầu ra của bộ lọc tính theo phương trình (2):

$$n_k = \sum_{i=0}^{L-1} w_k(i) x_{k-i}, \quad (2)$$



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc ngang của bộ lọc số

trong đó : $w_k(i), i=0,1,\dots,L-1$ là các hệ số của bộ lọc, và có thể điều chỉnh được. Các hệ số này còn được gọi là các trọng số (weights); L là độ dài của bộ lọc ; và $x_k(i), n_k$ là tín hiệu đầu vào, đầu ra của bộ lọc tương ứng.

Thuật toán thích nghi LMS có nhiệm vụ điều chỉnh các hệ số của bộ lọc $w_k(i), i=0,1,\dots,L-1$ theo phương pháp lặp với kích thước bước μ để có được tín hiệu s_k “gần giống” với tín hiệu s_k . Các

bước thực hiện thuật toán LMS như sau:

Bước 1: Khởi tạo, thiết lập các hệ số bộ lọc (hay còn gọi là các trọng số) $w_k(i), i=0,1,\dots,L-1$ tới một giá trị xác định tùy ý, thường là các giá trị bằng 0.

Bước 2: Đọc các mẫu tín hiệu x_k và d_k từ bộ biến đổi tương tự - số ADC.

Bước 3: Tính đầu ra của bộ lọc theo công thức (2).

Bước 4: Tính ước lượng sai số theo công thức $e_k = d_k - n_k$.

Bước 5: Cập nhật các hệ số của bộ lọc theo công thức

$$w_{k+1}(i) = w_k(i) + 2\mu e_k x_{k-i}.$$

Bước 6: quay lại bước 2.

Như vậy, nhìn vào sáu bước trên ta nhận thấy, khi đứng trước một ứng dụng yêu cầu sử dụng bộ lọc thích nghi để loại sự ảnh hưởng của nhiễu thì nhiệm vụ đầu tiên là cần xác định được độ dài của bộ lọc L và kích thước bước μ . Đây là một trong những khó khăn trong quá trình thiết kế bộ lọc thích nghi. Như đã trình bày trong phần đặt vấn đề, Widrow và các cộng sự không đề xuất cách lựa chọn hai thông số này mà việc đó tùy vào kinh nghiệm của người thiết kế. Trong phần tiếp theo, bài báo sẽ trình bày một phương pháp để hỗ trợ xác định các thông số này, và sau đó là một ví dụ khử nhiễu lưới điện tác động đến tín hiệu điện tim nhằm minh họa phương pháp đề xuất.

2.2. Phương pháp xác định thông số bộ lọc thích nghi

2.2.1. Phương pháp

Phương pháp xác định thông số độ dài của bộ lọc L và kích thước bước μ của bộ lọc thích nghi LMS trong ứng dụng khử nhiễu tác động lên tín hiệu được đề xuất như sau.

Bước 1: Chuẩn bị tập mẫu tín hiệu s_k .

Bước 2: Chuẩn bị tập mẫu nhiễu x_k , có độ dài mẫu bằng với s_k .

Bước 3: Với mỗi thiết lập độ dài bộ lọc bằng 2, 3, ..., L ta chạy thử nghiệm lần lượt với kích thước bước $\mu=0.005$ đến 0.25 với bước tăng 0.001. Chú ý: ta có thể

lựa chọn bước tăng thưa hơn trong những ứng dụng cụ thể.

Bước 4: Sau mỗi lần chạy thử, ta tính được các giá trị tỷ số tín hiệu trên nhiễu SNR và hệ số tương quan, $r_{s_k s_k}$, giữa tín hiệu s_k và s_k lần lượt theo công thức (3) và (4) tương ứng. Tiếp theo ta thiết lập được các đường biểu thị mối quan hệ SNR, hệ số tương quan $r_{s_k s_k}$ theo L và μ .

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{E[s_k^2]}{E[(n_k - n_k)^2]} \right) \quad (3)$$

$$|r_{s_k s_k}| = \frac{\text{cov}(s_k, s_k)}{\sqrt{E[s_k^2] - \mu_{s_k}^2} \sqrt{E[s_k^2] - \mu_{s_k}^2}} \quad (4)$$

Bước 5: Trên cơ sở quan sát các đường biểu thị mối quan hệ SNR, hệ số tương quan theo L và μ ta lựa chọn được cặp thông số L và μ sao cho bộ lọc thích nghi cho kết quả lọc tốt, cụ thể là các chỉ số đánh giá bộ lọc SNR và hệ số tương quan có giá trị cao.

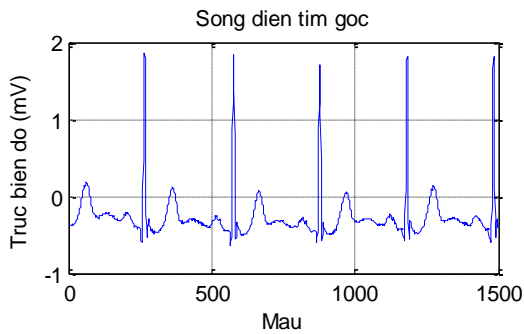
2.2.2. Ví dụ minh họa

Xét bài toán khử nhiễu lưới điện cho tín hiệu điện tim sử dụng bộ lọc thích nghi với thuật toán LMS. Để lựa chọn độ dài bộ lọc L và kích thước bước μ theo phương pháp đề xuất, ta thực hiện theo các bước như đã trình bày, cụ thể như sau.

Bước 1: Chuẩn bị tập mẫu tín hiệu s_k .

Tín hiệu điện tim s_k được lấy từ ngân hàng cơ sở dữ liệu MIT/BIH, hình 3.

Bước 2: Chuẩn bị tập mẫu nhiễu x_k , có độ dài mẫu bằng với s_k .



Hình 3. Tín hiệu điện tim gốc, s_k

Nhiều lưới điện x_k (hình 4) được tạo bởi phương trình (5):

$$x[k] = \sum_{i=1}^M A_i \sin(2\pi f_i k + \theta_i) \quad (5)$$

trong đó: nhiễu x_k bao gồm sóng cơ bản và hài bậc ba; các tham số A_i , f_i và θ_i là biên độ, tần số, và pha của các sóng thành phần tương ứng. Các tham số biên độ, tần số, pha của các sóng thành phần là những biến ngẫu nhiên độc lập tuân theo quá trình Markov bậc nhất như trong công thức (6) và (7).

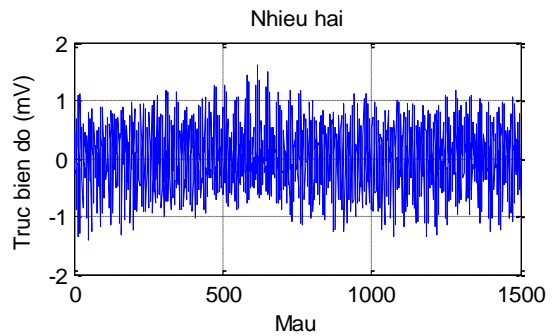
$$A_i[k+1] = \gamma_i A_i[k] + \zeta_i[k] \quad (6)$$

trong đó: $A_i[k+1]$, $A_i[k]$ là biên độ tại thời điểm $[k+1]$ và $[k]$ tương ứng; $\zeta_i[k]$ là biến ngẫu nhiên tuân theo phân bố Gaussian với giá trị trung bình bằng không; phương sai $\sigma_{\zeta_i}^2$ và γ_i là hệ số của quá trình Markov bậc nhất, với điều kiện $0 < \gamma_i < 1$.

$$f_i[k+1] = \nu_i f_i[k] + \eta_i[k] \quad (7)$$

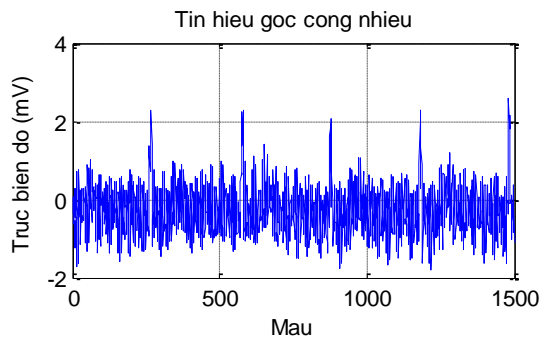
trong đó: $f_i[k+1]$, $f_i[k]$ là giá trị tần số

của các sóng hài thành phần tại thời điểm $[k+1]$ và $[k]$ tương ứng; $\eta_i[k]$ là biến ngẫu nhiên tuân theo phân bố Gaussian với giá trị trung bình bằng không; phương sai $\sigma_{\eta_i}^2$ và ν_i là hệ số của quá trình Markov bậc nhất, với điều kiện $0 < \nu_i < 1$.



Hình 4. Nhiều lưới điện có thành phần ngẫu nhiên

Tín hiệu d_k là tổng của tín hiệu điện tim gốc s_k và nhiễu n_k được trình bày trong hình 5.



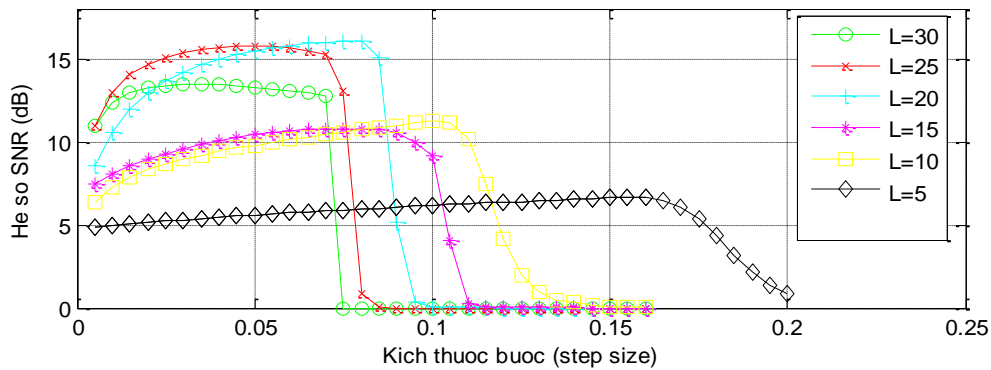
Hình 5. Tín hiệu điện tim bị nhiễu nhiều lưới điện

Bước 3: Với mỗi thiết lập độ dài bộ lọc $L = 5, 10, \dots, 30$, ta chạy thử nghiệm với kích thước bước $\mu = 0.005$ đến 0.25 với bước tăng 0.005.

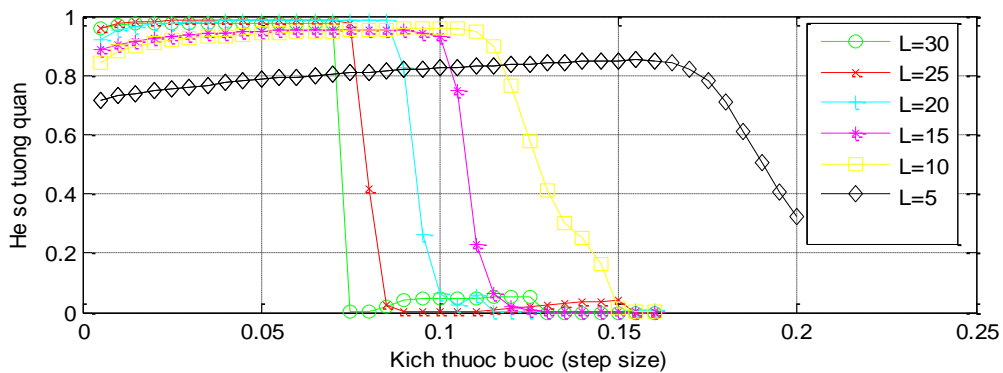
Bước 4: Sau mỗi lần chạy thử, ta tính được các giá trị: tỷ số tín hiệu trên nhiễu

SNR và hệ số tương quan $r_{s_k s_k}$ giữa tín hiệu s_k và s_k lần lượt theo công thức (3) và (4) tương ứng. Sau đó ta thiết lập được

các đường biểu thị mối quan hệ SNR, hệ số tương quan theo L và μ như được trình bày trên hình 6 và hình 7.



Hình 6. Sự phụ thuộc của SNR vào L và μ

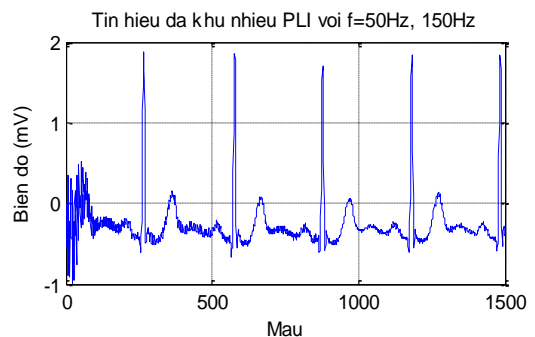


Hình 7. Sự phụ thuộc của hệ số tương quan vào L và μ

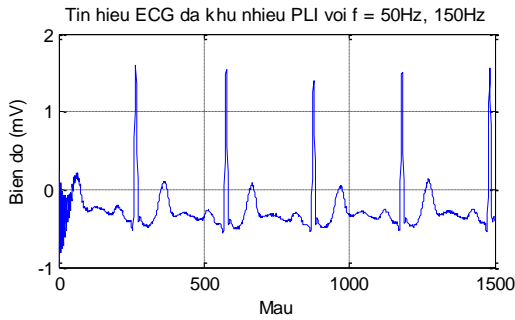
Bước 5: Quan sát các đường biểu thị mối quan hệ SNR, hệ số tương quan theo L và μ như được trình bày trên hình 6 và hình 7, ta lựa chọn được cặp thông số L và μ , cụ thể $L = 20$ và $\mu = 0.08$ là các thông số mà bộ lọc thích nghi cho kết quả lọc tốt, SNR = 17 dB và hệ số tương quan gần bằng 1.

Để minh họa, ta thử lựa chọn cặp thông số của bộ lọc thích nghi $L = 5$ và $\mu = 0.05$, khi đó ta có được kết quả tín hiệu điện tim sau khi lọc như được trình bày trên hình 8. Trong khi đó, với việc

lựa chọn cặp thông số $L = 20$ và $\mu = 0.08$, ta có được kết quả tín hiệu điện tim sau khi lọc được trình bày trên hình 9.



Hình 8. Tín hiệu điện tim sau lọc ($L=5$ và $\mu = 0.05$)



Hình 9. Tín hiệu điện tim sau lọc
($L=20$ và $\mu = 0.08$)

So sánh kết quả khử nhiễu, từ hình 8 và hình 9, ta thấy với lựa chọn cặp thông số của bộ lọc thích nghi $L = 20$ và $\mu = 0.08$ cho kết quả khử nhiễu tốt hơn các cặp thông số khác ($L = 5$ và $\mu = 0.05$ là một cặp ví dụ). Qua đó, ta có thể thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất để tìm ra độ dài

của bộ lọc và kích thước bước của bộ lọc thích nghi.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp để xác định các thông số độ dài bộ lọc L , kích thước bước μ của bộ lọc thích nghi LMS và một ứng dụng minh họa phương pháp đề xuất trong bài toán khử nhiễu lưới điện tác động đến tín hiệu điện tim. Qua nội dung của phương pháp và kết quả thử nghiệm có thể nhận thấy phương pháp này hoàn toàn áp dụng được cho các bài toán khử nhiễu khác trong quá trình xác định các thông số cho bộ lọc thích nghi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hong Chae Woo, "Variable Step-Size LMS Algorithm using Squared Error and Autocorrelation of Error", International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, 2012.
- [2] José Gil F. Zipf, Orlando J. Tobias, and Rui Seara, "Non-Parametric VSS-NLMS Algorithm with control Parameter Based on the Error Correlation", The 7th International Telecommunications Symposium, 2010.
- [3] Wang Junfeng, Zhang Bo, "Design of Adaptive Equalizer Based on Variable Step LMS Algorithm", Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology, 2010.
- [4] A.Bhavani Sankar, "Performance Study of Various Adaptive Filter Algorithms for Noise Cancellation in Respiratory Signals", Signal Processing: An International Journal (SPIJ), Volume 4, 2012.
- [5] Ajjaiah H.B.M, Adaptive Variable "Step Size in LMS Algorithm using Evolutionary Programming VSSLMSEV", Signal Processing: An International Journal (SPIJ), Volume 6, 2012.
- [6] Amit Kumar Gupta, Rajesh Mehra, "Design and Analysis of Adaptive FIR Filter for Different Step Size", International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET), Volume 3, 2013.
- [7] Anitha Boge, V. Vijaya, Prof.K. Kishan Rao, "Clearing Artifacts using a Constrained Stability Least Mean Square Algorithm from Cardiac Signals", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, Issue 11, November 2012.

- [8] Dinesh B.Bhojar, C.G. Dethe, M.M.Mushrif, "Performance Comparison of Modified Variable Step Size Leaky LMS Algorithm for Channel Estimation in Noisy Environment", *International journal of Computer Networking and Communication (IJCNC)*, Vol. 1, No. 1, August 2013.
- [9] Gunjan Kohar, Er. Vikas Mittal, "Performance of Modified Variable Step Size NLMS Algorithm", *International Journal for Advance Research in Engineering and Technology*, Volume 1, June 2013.
- [10] Gunjan Kohar, Vikas Mittal, "A Comparison of Performance of MVSSA with other Conventional Adaptive Algorithm for Echo Cancellation", *International Journal of Mathematical Sciences, Technology and Humanities*, 2013.
- [11] Hemant Kumar Gupta, "Designing and Implementation of Algorithms on MATLAB for Adaptive Noise Cancellation from ECG Signal", *International Journal of Computer Applications*, Volume 71, May 2013.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Nguyễn Thế Vinh** tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2002, nhận bằng thạc sĩ năm 2007 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tác giả hiện đang công tác tại Viện Nghiên cứu điện tử, tin học, tự động hóa. Hướng nghiên cứu: xử lý tín hiệu, truyền thông công nghiệp, hệ thống nhúng.



Tác giả **Lê Mạnh Hùng** tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 1999, nhận bằng thạc sĩ năm 2015 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tác giả hiện đang công tác tại Viện Nghiên cứu điện tử, tin học, tự động hóa. Hướng nghiên cứu: xử lý tín hiệu, truyền thông công nghiệp, hệ thống nhúng.



Tác giả **Võ Huy Hoàn** sinh năm 1973, tốt nghiệp Khoa Năng lượng - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Bảo vệ thành công luận án tiến sĩ năm 2006. Quá trình công tác: có hơn 10 năm giảng dạy và nghiên cứu tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và nhiều năm giảng dạy và nghiên cứu ở Trường Đại học Điện lực. Hướng nghiên cứu: kỹ thuật điện và điều khiển tự động.