NGHIÊN CỨU KIỂM SOÁT TIẾNG ỒN CHỦ ĐỘNG TRÊN Ô TÔ BẰNG CÔNG NGHỆ ANC

RESEARCH ON ACTIVE NOISE CONTROL IN CARS USING ANC TECHNOLOGY

Bùi Văn Hải[1,*], Nguyễn Duy An[1], Nguyễn Thắng Lợi[1], Bùi Như Tiến[1], Nguyễn Đỗ Hoài Nam[1]

DOI: http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.379

TÓM TẮT

Ngày nay, cùng với sự phát triển về mặt khoa học các nhà nghiên cứu và thiết kế đã đạt được những thành tự trong việc phát triển công nghệ chống ồn. Bài báo này để cập đến là công nghệ chống tiếng ồn chủ động ANC (Active Noise Control). Áp dụng các thành tựu khoa học kỹ thuật tiên tiến này vào thực tế nên tiếng ồn trong ô tô ngày càng được triệt tiêu đáng kể. Triệt tiêu tiếng ồn trên ô tô là một yếu tố quan trọng và không thể thiếu trên các dòng xe ngày nay. Hệ thống hoạt động dựa trên nguyên lý thu nhận âm thanh bên ngoài và tiến hành đảo ngược sóng, sau đó triệt tiêu bằng cách trung hòa hai sóng âm. Công nghệ này chính là xu hướng phát triển trong tương lai. Như vậy, công nghệ chống ồn này có thể tự động điều chỉnh được âm thanh để triệt tiêu những tiếng ồn bên ngoài xe để tạo cảm giác thoái mái cho người lái và hành khách trong xe. Đây chính là ưu điểm nổi bật mà các công nghệ trước đó không có được. Nội dung của bài báo này sẽ mô phỏng, mô hình hóa công nghệ chống tiếng ồn chủ động ANC.

Từ khóa: *ANC, chống ồn, trung hòa sóng âm.*

ABSTRACT

Today, with scientific developments, researchers and designers have achieved achievements in developing noise canceling technology. This article wants to mention active noise canceling technology ANC (Active Noise Control). Application of these advanced scientific and technical achievements in practice, noise in cars is increasingly eliminated significantly. Noise suppression in cars is an important and indispensable factor in today's vehicles. The system operates based on the principle of receiving external sounds and reversing the waves, then eliminating them by neutralizing the two sound waves. This technology is a future development trend. Thus, a noise canceling technology can automatically adjust the sound to eliminate noise outside the car to create a comfortable feeling for the driver. This is an outstanding advantage that previous technologies did not have. This article will simulate and model ANC active noise canceling technology.

Keywords: *ANC, noise canceling, sound wave neutralization.*

[1]Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

[*]Email: haihang08@gmail.com

Ngày nhận bài: 14/5/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/8/2024

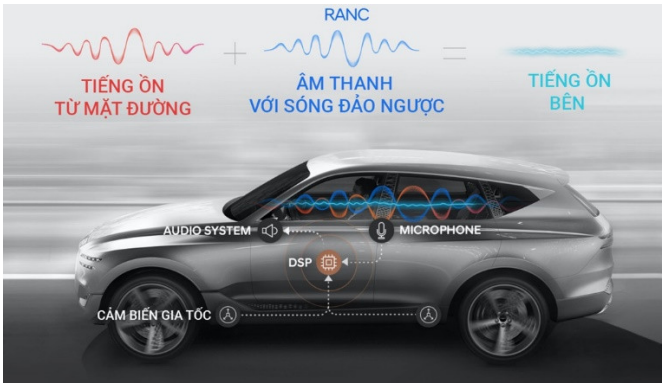
Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2024

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ chống tiếng ồn chủ động (ANC) lần đầu tiên được hãng siemens phát triển với mục đích triệt tiêu tiếng ồn của động cơ và mặt đường ảnh hưởng đến xe. Hệ thống chủ động loại bỏ tiếng ồn và đạt được lợi thế tối đa từ việc chuyển sang âm học của các phần mềm. Hệ thống này hoạt động chủ động giúp cải thiện trải nghiệm lái xe và giảm đáng kể trọng lượng của xe. Công nghệ ANC dựa vào các bộ phận như loa giải trí trên xe để tạo ra sóng chống hoặc phát ngược lại sóng âm đối với tiếng ồn bên ngoài. Sóng được loa tạo ra sẽ có cùng biên độ và tần số với nguồn tiếng ồn nhưng bị đảo ngược có nghĩa là sẽ lệch pha 180^0. Ngày nay, ANC đưa ra các thuật toán có thể xử lý nhiễu tín hiệu âm thanh trong cùng thời điểm. Các hãng xe cũng ứng dụng thuật toán kiểm soát thích ứng trong không gian 3 chiều. Âm thanh trong xe được kiểm soát chủ động nên giúp cho cabin ô tô ngày càng trở nên yên tĩnh hơn, sự riêng tư của người ngồi trong xe ngày càng lớn hơn. Có thể nói rằng, ANC đang là hệ thống mà tất cả các hãng xe ô tô trên thế giới đều muốn áp dụng. Hệ thống kiểm soát tiếng ồn chủ động mang lại rất nhiều ưu điểm nổi bật:

- **Kiểm soát trực tiếp âm thanh:** ANC có thể kiểm soát trực tiếp tốt âm thanh tần số thấp theo chu kỳ từ động cơ hay mặt đường. Vì thế có thể triệt tiêu gần như hoàn toàn âm thanh đưa vào cabin nếu kết hợp với kiểm soát thụ động tốt.

• **Hệ thống đơn giản, nhẹ nhàng:** ANC chỉ là một thiết bị điện tử rất nhỏ được đặt trong xe. Nó không cần áp dụng các vật liệu cách âm trên khắp thân xe như phương pháp kiểm soát âm thanh thụ động. Điều này đặc biệt hữu ích với việc giảm âm thanh trên ô tô thể thao hoặc máy bay.

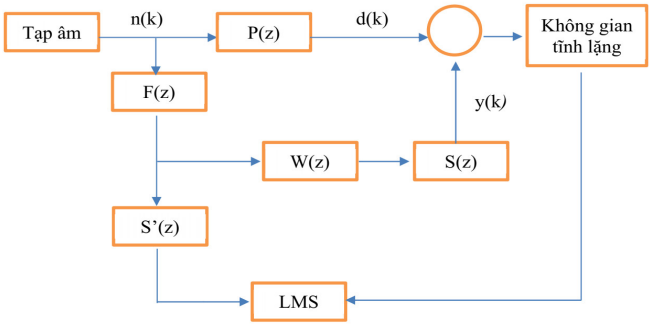


Hình 1. Sơ đồ công nghệ ANC

Hệ thống ANC giúp cho cabin xe ngày càng trở nên yên tĩnh hơn. Đây là một phương pháp loại bỏ tiếng ồn hết sức chủ động để không gian ca-bin ôtô giảm từ 6 - 10dB [1].

2. CẤU TRÚC CỦA BỘ LỌC THÍCH ỨNG

Trong phần này, bài báo trình bày nghiên cứu mô tả cấu tạo của bộ lọc thích ứng. Vì các đặc tính của nguồn tạp âm và môi trường thay đổi theo thời gian nên tần số, biên độ, pha và tốc độ âm thanh của tiếng ồn không mong muốn là không cố định. Do đó, để hạn chế những biến đổi này, hệ thống ANC phải có khả năng thích ứng. Phổ biến nhất là dạng bộ lọc thích ứng và bộ lọc ngang sử dụng thuật toán bình phương trung bình nhỏ nhất (LMS), hiển thị khung bộ lọc.



Hình 2. Cấu trúc tổng quan

Cấu trúc phần cứng của ANC được mô tả như trên hình 2. Sóng âm tại vùng không gian tĩnh nặng là tổng hợp luồng sóng sơ cấp d(k) và luồng sóng thứ cấp y(k). Luồng sơ cấp d(k) là sóng âm bên ngoài môi trường phụ thuộc n(k) và khoảng cách không gian. Quan hệ giữa d(k) và n(k) là một hàm P(z) có xu hướng giảm theo khoảng cách không gian và được mô tả là một khâu có mô hình không biết trước. Luồng thứ cấp y(k) là sóng âm do hệ thống ANC sinh ra.

Sơ đồ khối trên hình 2 mô tả hệ thống ANC. W(z) là khâu lọc thích nghi, trọng số của bộ lọc được cập nhật thông qua thuật toán LMS. S(z) là hàm truyền của các khối từ loa đến microphone cảm biến sai số. Trong vật lí, tốc độ của âm thanh là 343m/s, với tốc độ này khi âm thanh đi vào trong bo mạch sẽ không kịp xử lí. Vì vậy cần có thuật toán dự đoán tiếng ồn để từ tiếng ồn đầu vào có thể dự đoán tiếng ồn tiếp theo là gì. Khối S'(z) là hàm truyền ước lượng của khâu F(z). Bộ lọc F(z) có chức năng tách lọc sóng âm có tần số trong phạm vi 0 - 400Hz để đưa vào khâu xử lí LMS với mục tiêu hạn chế sóng âm có dải tần số thấp và tần số cao.

LMS là thuật toán lọc thích nghi tuyến tính, bao gồm hai quá trình cơ bản sau:

- Quá trình lọc: bao gồm việc tính toán đầu ra của bộ lọc theo các tín hiệu vào băng lọc và đánh giá sự sai lệch giữa đầu ra và tín hiệu chuẩn (tín hiệu mong muốn).

- Quá trình thích nghi: đấy là quá trình điều khiển tự động trọng số lọc tương ứng với sai số được đánh giá.

Hệ thống ANC phản hồi thích ứng một kênh hoạt động bằng cách xử lý tiếng ồn âm thanh muốn giảm (tiếng ồn "mục tiêu"), sau đó nó tạo ra xung chống ồn gửi vào không khí, do đó làm giảm tiếng ồn mục tiêu ở một mức độ nhất định.

Điều này có nghĩa phải xác định chính xác và đồng thời P(z) và S(z). Điểm chính của giải pháp này là với một mô hình đối tượng thích hợp, hệ thống phải đáp ứng được sự thay đổi của cả tín hiệu nhiễu vào. Tuy nhiên, đặc tính của hệ ANC phụ thuộc vào hàm truyền của luồng âm thanh thứ cấp y(k) với việc cân bằng đáp ứng tần số khâu sơ cấp. Trong trường hợp này, lượng giảm tín hiệu ồn sẽ được tăng lên. Ngoài ra có thể sử dụng một bộ lọc thích nghi bậc cao FIR để xấp xỉ hàm 1/S(z) một cách hợp lý, nó có thể bù lại lượng trễ vốn có của luồng sơ cấp.

3. GIẢI THUẬT LỌC THÍCH NGHI (FxLMS)

Từ hình 2 rút ra biến đổi rời rạc của tín hiệu sai số:

$$E(z) = [P(z) - S(z)W(z)]X(z) \quad (1)$$

Trong trường hợp lý tưởng để sai số e(k) tiện cận 0 khi $x(k) \neq 0$ là hàm truyền bộ lọc có giá trị:

$$W^0(z) = \frac{P(z)}{S(z)} \quad (2)$$

Giải thuật bình phương tối thiểu FxLMS có thể được dùng cho cấu trúc hình 2. Khi đó, tín hiệu sai số tính theo công thức [4, 6]:

$$e(k) = d(k) - s(k).[W^T(k).x(k)] \quad (3)$$

Trong đó: $s(k) = [s(k)\ s(k-1)\ ...\ s(k-L+1)]^T$, $w(k) = [w_0(k)\ w_1(k)\ ...\ w_{L-1}(k)]^T$ lần lượt là đáp ứng xung đơn vị của luồng âm thanh thứ cấp S(z) và trọng số bộ lọc W(z). Chỉ số L là bậc của bộ lọc thích nghi W(z). Giá trị L phải đủ lớn để hệ có độ chính xác cao [5, 6].

Hàm năng lượng của sóng âm được đại diện bởi giá trị bình phương biên độ sóng ($\xi(k) = E[e^2(k)]$). Để đơn giản, chúng ta sử dụng hàm năng lượng này có dạng:

$$\xi(k) = e^2(k) \quad (4)$$

Hệ số của bộ lọc W(z) được xác định theo:

$$w(k+1) = w(k) - \frac{\mu}{2}\nabla\xi(k) \quad (5)$$

Trong đó, $\nabla\xi(k)$ là gradient của $\xi(k)$ và μ là một hằng số dương đủ nhỏ thể hiện bước hiệu chỉnh tham số. Từ phương trình (3) và (4) có:

$$\begin{cases} \nabla e(k) = -s(k)x(k) = -x'(k) \\ \nabla\xi(k) = \nabla e^2(k) = 2[\nabla e(k)]e(k) = -2x'(k)e(k) \end{cases} \quad (6)$$

Giá trị tới hạn của μ để hệ thống ổn định là:

$$\mu_{max} = \frac{2}{P_{x'}(L+M)} \quad (7)$$

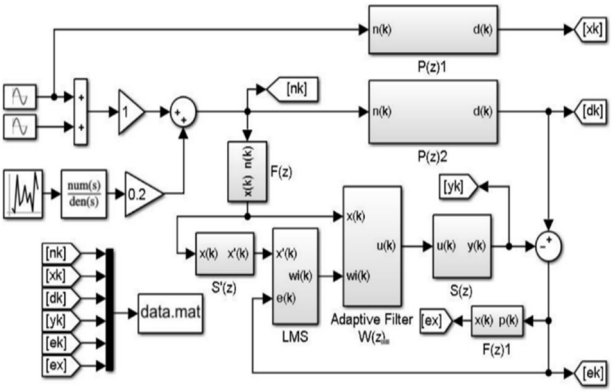
Trong đó: $P_{x'} = E[e^2(k)]$ là công suất tín hiệu tham chiếu $x'(k)$; L là bậc của bộ lọc W(z); M là số lượng mẫu tương ứng với độ trễ tổng thể trong luồng âm thanh thứ cấp. Thuật toán FxLMS để xác định tham số bộ lọc thích nghi W(z) xác định như:

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \mu e(k)x'(k-i) \quad (8)$$

Trong thực tiễn, S(z) là hàm truyền chưa biết trước do đó cần phải ước lượng.

4. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

4.1. Mô tả thiết lập hệ thống mô phỏng



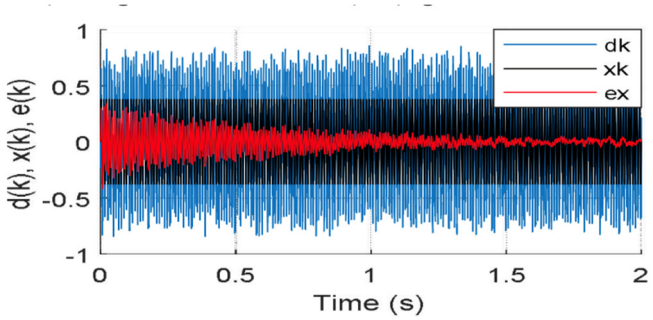
Hình 3. Sơ đồ mô phỏng hệ thống ANC trên phần mềm Matlab-Simulink

Giả thiết: 1) Hàm truyền S'(z) là cho trước; 2) P(z) cùng S(z) thay đổi trong một phạm vi nhất định xung quanh giá trị gốc $P_0(z)$ và $S_0(z)$. Hàm truyền bộ lọc F(z) là bộ lọc bậc 4 dùng để tách lọc tín hiệu trong dải tần từ 0 đến 400Hz. Tần số lấy mẫu xử lý của hệ ANC được chọn là 20kHz. Khảo sát hệ ANC xét trong điều kiện chỉ có một nguồn tạo sóng âm thanh ồn. Đáp ứng thời gian của tín hiệu nhiễu n(k) được thay đổi. Bộ lọc thích nghi W(z) có bậc L = 12. Hằng số bước của hệ thống $\mu = 0{,}01$ và có thể điều chỉnh trong quá trình mô phỏng.

Mô hình mô phỏng hệ thống được thực hiện trên Matlab-Simulink với sơ đồ mô phỏng như thể hiện trên hình 3.

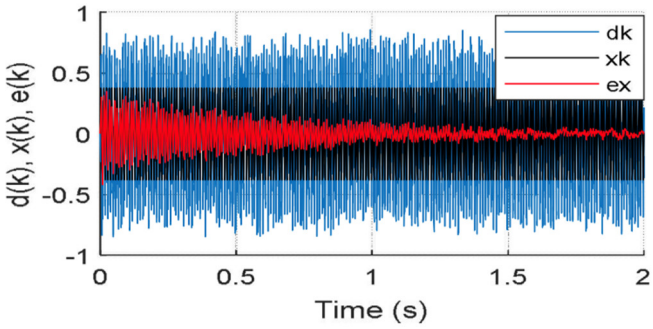
4.2. Kết quả mô phỏng

a) Trường hợp 1: Trong trường hợp này giá trị của $P(z) = P_0(z)$. Tín hiệu vào ngẫu nhiên. Thay đổi giá trị S(z) để kiểm tra khả năng giảm sóng âm ồn của hệ. Kết quả hình 4, 5 cho thấy, khi thay đổi S(z) trong phạm vi nhất định hay nói cách khác là mô hình của S(z) không xác định chính xác thì hệ thống ANC vẫn có thể hoạt động tốt.



$$S1(z) = 0{,}1 + 0{,}44z^{-1} - 0{,}095z^{-2} + 0{,}01z^{-3} + 0{,}09z^{-4}$$

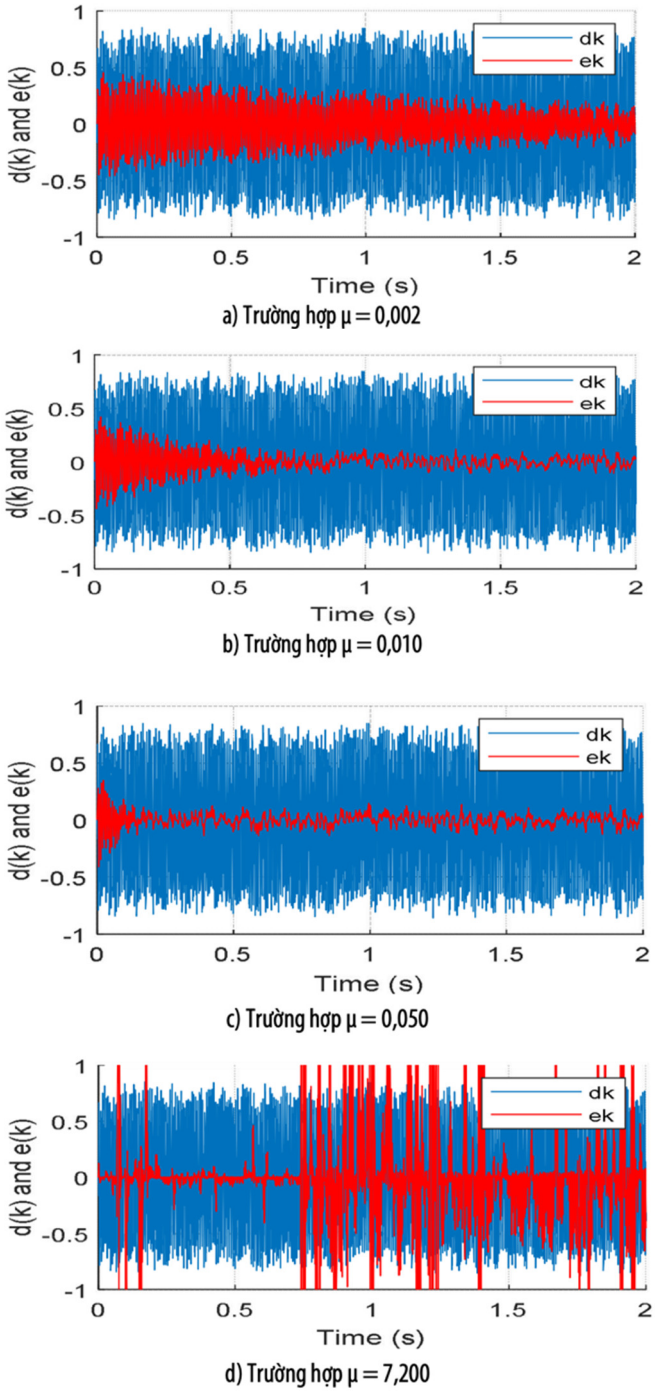
Hình 4. Hệ số khi $S(z) = S_1(z)$



$$S2(z) = 0{,}12 + 0{,}38z^{-1} - 0{,}09z^{-2} + 0{,}01z^{-3} + 0{,}092z^{-4}$$

Hình 5. Hệ số khi $S(z) = S_2(z)$

b) Trường hợp 2: Khảo sát ảnh hưởng của hệ số cập nhật μ lên thời gian hội tụ của hệ ANC trong trường hợp: $P(z) = P_0(z)$; $S(z) = S_2(z) = 0{,}12 + 0{,}38z^{-1} - 0{,}09z^{-2} + 0{,}01z^{-3} + 0{,}092z^{-4}$; tín hiệu vào $n(t) = 0{,}5\sin(f \times 2\pi t + 0) + 0{,}5\sin(1500 \times 2\pi t + 0{,}2)$ + tín hiệu ngẫu nhiên có tần số 200Hz biên độ trong phạm vi [-0,2; 0,2]. Thời gian hội tụ và đáp ứng quá độ của hệ ANC khi hệ số μ thay đổi thể hiện ở hình 6.



Hình 6. Đáp ứng thời gian của sai số e(k) khi f=150Hz

5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo đã trình bày sơ lược về sử dụng thuật toán FxLMS để thiết kế hệ thống ANC đơn kênh với cấu trúc giữa tín hiệu điều khiển và tín hiệu âm thanh thu được từ microphone (hàm S'(z)). Kết quả mô phỏng cho thấy, lượng âm thanh của dải tần số thấp được giảm thiểu trong điều kiện mô hình hệ thống không xác định chính xác. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng trên mới chỉ xét trong điều kiện lý tưởng: một nguồn âm thanh ồn, không xét tới cấu trúc không gian hệ thống, bỏ qua ảnh hưởng của hiện tượng phản dội âm thanh do cấu trúc không gian - vật thể trong môi trường tạo lên… Trong những nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ trình bày chi tiết về các vấn đề trên và kiểm nghiệm kết quả nghiên cứu trong môi trường thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. E. Parizet, E. Guyade, V. Nosulenko, "Analysis of car door closing sound quality," Applied Acoustics 69, 2008.

[2]. G.P. Kadam, Saba Fatina, "Implementation of active noise control system using multi-rate digital singal processing technique," *World Journal of Science and Technology*, 2012.

[3]. Manas Singhal, Manish Trikha, Alok pandey, Pankaj Bhardwaj, "Higher order x-LMS applied for Active noise control system," *MIT International Journal of Electrical and Instrumention Engineering*, 2012

[4]. Veervasantarao D, Ajay S, Premkumar P, Laxmidhar Behera, "Apdaptive Active Noise Control Schemes for Headset Applications," in *Proceeding of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, 7550-7555, 2018.

[5]. Iman Tababaei Ardekani, Valeed H. Abdulla, "FxLMS-based Active Noise Control: A quick review," *APSIPA ASC Xian*, 2011.

[6]. P. Baku, A. Krishnan, "A modified structure for Feed forward active noise control system with improved performance," *International Journal of Computer Science & Information Technology* (IJCSIT), 2, 4, 2010.

AUTHORS INFORMATION

Bui Van Hai, Nguyen Duy An, Nguyen Thang Loi, Bui Nhu Tien, Nguyen Do Hoai Nam

School of Mechanical and Automotive Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam