

CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA PHƯƠNG PHÁP ỨNG DỤNG WAVELETS TRONG XỬ LÝ TIẾNG ỒN

Trần Thị Thanh Thủy¹

TÓM TẮT

Tiếng ồn là một hiện tượng phổ biến trong đời sống, việc xử lý tiếng ồn đã trở thành một vấn đề quan trọng mang tính thực tiễn cao. Trong bài viết này, chúng ta đề cập đến một phương pháp xử lý tiếng ồn dựa trên các thuật toán phân tích và tổng hợp wavelets, kết hợp với công nghệ kiểm soát tiếng ồn chủ động (ANC). Công nghệ ANC sử dụng các thiết bị chuyên dụng để thu nhận tiếng ồn từ môi trường xung quanh, sau đó tạo ra tín hiệu âm thanh thứ hai có đặc tính tương tự nhưng ngược pha với những tiếng ồn ban đầu. Theo nguyên lý giao thoa, khi hai tín hiệu ngược nhau được kết hợp thì nhiễu âm sẽ bị triệt tiêu. Phân tích wavelets là công cụ rất hiệu quả giúp chúng ta tạo ra tín hiệu thứ hai này.

Từ khóa: Tiếng ồn, thuật toán, wavelets, ANC.

DOI: <https://doi.org/10.70117/hdujs.79.09.2025.937>

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tiếng ồn là một vấn đề muôn thuở trong đời sống xã hội. Ngày nay, cuộc sống càng phát triển thì tiếng ồn xuất hiện nhiều hơn với những hình thức ngày càng phong phú. Xung quanh chúng ta, tiếng ồn có thể được phát ra từ bất cứ nơi đâu, bất kỳ lúc nào. Ta có thể nhận thấy có tiếng ồn phát sinh do đời sống sinh hoạt, như tiếng la hét, tiếng karaoke, tiếng ồn từ điện thoại, máy nghe nhạc, tiếng ồn từ các nhà máy công nghiệp, công trường xây dựng đang thi công, tiếng ồn từ các loại phương tiện giao thông... Các nội dung chính của việc xử lý tiếng ồn trong đời sống xã hội là: kiểm soát tiếng ồn giao thông, thiết kế kiến trúc, xây dựng đô thị trên cơ sở quy hoạch hạ tầng, kiểm soát tiếng ồn trong công việc nghề nghiệp đặc thù. Tiếng ồn có thể tạo ra một mức độ tác động môi trường ảnh hưởng liên tục đến sức khỏe của người dân sinh sống hoặc làm việc trong các khu vực này, cả trong nhà và ngoài trời, gây ra những thách thức đáng kể cho các chiến lược kiểm soát và xử lý tiếng ồn hiệu quả.

Tiếng ồn nói chung có ảnh hưởng trực tiếp và tiêu cực đến hệ thần kinh cũng như tâm lý và sức khỏe con người. Do đó, vấn đề phân tích và xử lý tiếng ồn là một vấn đề cấp thiết được đặt ra mọi lúc mọi nơi.

Hiện nay, bên cạnh các giải pháp thụ động như cách âm, tiêu âm truyền thống, nhiều phương pháp xử lý tiếng ồn chủ động và kỹ thuật số đã được phát triển nhằm đạt hiệu quả cao hơn trong môi trường sống và làm việc hiện đại. Trong số đó, biến đổi wavelets và kiểm soát tiếng ồn chủ động (ANC) là hai công cụ và phương pháp tiêu biểu được cộng đồng nghiên cứu quan tâm mạnh mẽ.

Về mặt toán học, wavelets là các phép biến đổi có thể được sử dụng để phân tích tín hiệu. Trước đây ta hay dùng biến đổi Fourier để phân tích một tín hiệu thành một họ các

¹ Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng; Email: thuytt2@hiu.vn

sóng hình sin. Khi wavelets ra đời và được sử dụng rộng rãi trong thời gian gần đây, người ta có thể dùng phép biến đổi wavelets để phân tích tín hiệu thành một họ các wavelets. Với đặc điểm khác biệt là các sóng hình sin có độ dài vô hạn, còn các wavelets lại có độ dài hữu hạn, rất phù hợp với việc nghiên cứu tính chất của tín hiệu như khả năng khử nhiễu, đặc trưng phát hiện các đỉnh sóng, tính tần số tại những thời điểm cụ thể... Là một công cụ toán học, wavelets có thể được sử dụng để trích xuất thông tin từ nhiều loại tín hiệu, chẳng hạn tín hiệu âm thanh và hình ảnh. Wavelets là công cụ quan trọng và cần thiết để phân tích dữ liệu một cách đầy đủ. Các wavelets “bổ sung” giúp cho việc phân tích tín hiệu không có khoảng trống hoặc chồng chéo để quá trình phân tích có thể đảo ngược về mặt toán học. Do vậy, các wavelets bổ sung rất có ích trong các thuật toán phân tích - tổng hợp, trong đó chúng ta mong muốn khôi phục thông tin ban đầu với mức độ mất mát tối thiểu.

Biến đổi wavelets đã chứng minh hiệu quả vượt trội trong việc phân tích và khử nhiễu các tín hiệu phi tuyến, không tĩnh tại - đặc trưng thường gặp trong tiếng ồn thực tế. Các nghiên cứu gần đây [1][2] đã áp dụng wavelets để khử nhiễu tiếng ồn nền trong tín hiệu âm thanh lời nói, cải thiện độ rõ và chất lượng âm thanh đầu ra. Một số nghiên cứu cũng đã kết hợp biến đổi wavelets với các kỹ thuật học máy để tự động tối ưu hoá tham số lọc nhiễu, từ đó đạt hiệu suất xử lý tốt hơn các bộ lọc tuyến tính cổ điển.

Trong bài viết này, chúng ta sẽ xem xét khả năng ứng dụng wavelets vào việc phân tích tiếng ồn như là một tín hiệu và sau đó kết hợp với một số công nghệ về âm thanh để xử lý giảm thiểu cường độ của tiếng ồn, tạo cho chúng ta cuộc sống tiện nghi, dễ chịu, làm việc có hiệu quả hơn.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Trong bài báo này, chúng ta sẽ tìm hiểu và nghiên cứu các khái niệm và tính chất của wavelets liên tục và wavelets rời rạc, cách xây dựng một phân tích đa phân giải. Từ đó, chúng tôi đưa ra các thuật toán phân tích và tổng hợp wavelets. Tiếp theo, nghiên cứu sẽ tập trung tìm hiểu các tính chất đặc trưng của công nghệ ANC và việc ứng dụng các thuật toán phân tích và tổng hợp wavelets vào công nghệ ANC để xử lý tiếng ồn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chủ yếu là phương pháp phân tích định tính. Thông qua việc tìm hiểu và nghiên cứu các thuật toán phân tích, tổng hợp wavelets cùng với việc nghiên cứu công nghệ xử lý tiếng ồn ANC, chúng tôi đã tìm ra mối liên hệ giữa các thuật toán này với công nghệ ANC. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất phương pháp ứng dụng wavelets vào việc xử lý tiếng ồn.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Không gian $L^1(\mathbf{R})$ và $L^2(\mathbf{R})$

3.3.1. Không gian $L^1(\mathbf{R})$

a. Định nghĩa: $L^1(\mathbf{R})$ là không gian các hàm f giá trị phức thỏa mãn:

$$\|f\|_1^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)| dx < \infty. [3]$$

b. Tính chất: $L^1(\mathbf{R})$ với chuẩn $\| \cdot \|_1$ là không gian Banach.

3.3.2. Không gian $L^2(\mathbf{R})$

a. Định nghĩa 1: $L^2(\mathbf{R})$ là không gian các hàm f giá trị phức thỏa mãn:

$$\|f\|_2^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)|^2 dx < \infty, [3]$$

b. Định nghĩa 2: Cho các hàm $f, g \in L^2(\mathbf{R})$. Tích vô hướng (tích chập) của f và g được định nghĩa: $\langle f, g \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \overline{g(x)} dx$, với kí hiệu $\overline{g(x)}$ là liên hợp phức của $g(x)$. [3]

c. Tính chất 1: $L^2(\mathbf{R})$ là một không gian Hilbert [1].

d. Định nghĩa 3: Một tập đếm được $\{f_n\}_n$ trong $L^2(\mathbf{R})$ được gọi là một cơ sở Riesz nếu $\forall f \in L^2(\mathbf{R})$, f được biểu diễn một cách duy nhất $f = \sum_{n \in \mathbf{Z}} c_n f_n$ và tồn tại các hằng số A và B thỏa mãn :

$$A \|f\|^2 \leq \sum_{n \in \mathbf{Z}} |c_n|^2 \leq B \|f\|^2, [3]$$

e. Tính chất 2: Cho một cơ sở trực chuẩn $(\varphi_n)_{n \in \mathbf{Z}}$ của $L^2(\mathbf{R})$. Khi đó:

$$\forall f \in L^2, f = \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \varphi_n \rangle \varphi_n.$$

Công thức này được gọi là đẳng thức Parseval. Đẳng thức này có khi được viết dưới dạng: $\|f\|^2 = \sum_k c_k^2$ với $c_k = \langle f, \varphi_k \rangle$.

3.2. Biến đổi Fourier:

Cho hàm $f \in L^2(\mathbf{R})$. Biến đổi Fourier của f là:

$$\widehat{f}(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-iwx} dx.$$

Biến đổi Fourier ngược của f là :

Nếu $f, \widehat{f} \in L^1(\mathbf{R})$ thì $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{f}(w) e^{iwt} dw$ và được gọi là công thức biến đổi Fourier ngược của f [3].

3.3. Biến đổi wavelet

3.3.1. Biến đổi wavelets liên tục:

Cho hàm $f \in L^2(\mathbf{R})$, $\psi \in L^2(\mathbf{R})$ có $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$. Khi đó:

$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt$ với $a, b \in \mathbf{R}$, $a \neq 0$ (1), được gọi là biến đổi wavelets của f liên kết với wavelets ψ .

Trong đó, hai tham số đặc trưng a và b lần lượt là tỷ lệ nghịch đảo (độ giãn) của tần số và tham số dịch chuyển (vị trí), các tham số này nói chung thay đổi liên tục. Tham số tỷ lệ a tương ứng với việc giãn hay nén tín hiệu. Giá trị a lớn tương ứng với thành phần có tần số thấp nên sẽ cho thông tin toàn thể. Ngược lại, giá trị a nhỏ lại tương ứng với thành phần có tần số cao nên sẽ cho biết thông tin chi tiết. Tham số dịch chuyển b cho ta biết vị trí của tín hiệu trong không gian hoặc thời gian [4].

Các hàm wavelets dùng trong phân tích xuất phát từ một hàm wavelets cơ bản thường được gọi là hàm wavelets mẹ (mother wavelet) bằng cách thay đổi hai tham số tỷ lệ và dịch chuyển.

Ghi chú: Nếu đặt $\psi_{(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ thì ta có thể viết:

$$Wf(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \overline{\psi_{(a,b)}(t)} dt \text{ với } a, b \in \mathbf{R}, a \neq 0 \text{ (2).}$$

3.3.2. Biến đổi wavelets rời rạc và phân tích đa phân giải

a. Cho wavelets ψ và hàm $f \in L^2(\mathbf{R})$. Khi đó phép biến đổi

$$Wf\left(\frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j}\right) = 2^{\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot \overline{\psi(2^j x - k)} dx \text{ với } \forall j, k \in \mathbf{Z}$$

được gọi là phép biến đổi wavelets rời rạc (DWT) của f

b. Một phân tích đa phân giải (MRA) của $L^2(\mathbf{R})$ là một dãy các không gian con đóng $\{V_j\}, j \in \mathbf{Z}$ của $L^2(\mathbf{R})$ thỏa mãn các điều kiện sau:

$$V_j \subset V_{j+1}, \forall j \in \mathbf{Z}.$$

$$\overline{\bigcup_{j \in \mathbf{Z}} V_j} = L^2(\mathbf{R}).$$

$$\bigcap_{j \in \mathbf{Z}} V_j = \{0\}.$$

$$f(t) \in V_j \Leftrightarrow f(2t) \in V_{j+1}, \forall j \in \mathbf{Z}.$$

$$f(t) \in V_0 \Leftrightarrow f(t - n) \in V_0, \forall n \in \mathbf{Z}.$$

$\exists \varphi \in V_0$ sao cho $\{\varphi_{0,n}\}_{n \in \mathbf{Z}}$ là một cơ sở trực chuẩn của V_0 với:

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \varphi(2^j t - k), \forall j, k \in \mathbf{Z}.$$

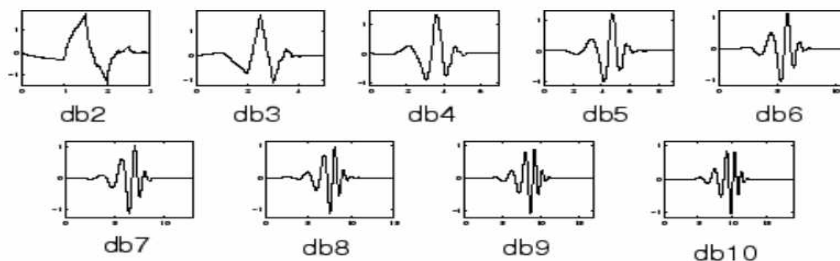
$\forall j \in \mathbf{Z}$, ta ký hiệu W_j là phần bù trực giao của V_j trong V_{j+1} .

Ta có $V_{j+1} = V_j + W_j$ và $\forall u \in V_{j+1}, u = v + w$, trong đó $v \in V_j, w \in W_j, \langle u, v \rangle = 0$ và sự phân tích của u là duy nhất [4] [5].

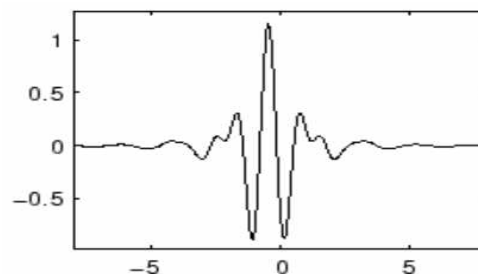
Theo cách tương tự, họ wavelets của không gian con W_j có dạng:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k)$$

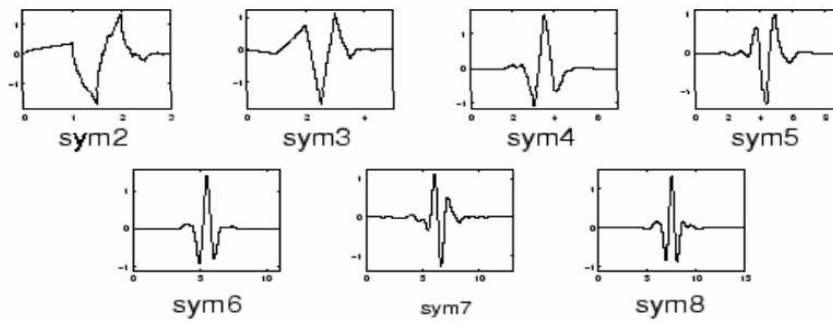
Dưới đây là một số wavelets thông dụng:



Hình 1. Daubechies wavelets [4]



Hình 2. Meyer wavelets [6]



Hình 3. Symlet [5]

3.4. Thuật toán phân tích và tổng hợp wavelets

Chọn hàm tỷ lệ φ và V_0 sinh bởi $\{\varphi_{0,k}\}_{k \in \mathbb{Z}}$ sao cho $\varphi(t) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} C_n \varphi(2t - n)$ với:

$$\sum_{n \in \mathbb{Z}} |C_n|^2 < \infty \text{ và } \sum_{k \in \mathbb{Z}} |\hat{\varphi}(t + k\pi)|^2 < \infty.$$

Bây giờ, chúng ta dùng phép chiếu tín hiệu từ V_{i+1} xuống V_i và W_i :

$$P_{i+1} f = P_i f + Q_i f.$$

Ta có: $P_0 f = \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_{0,k} \cdot \varphi_{0,k}$.

Trong đó: $a_{0,k} = \langle f, \varphi_{0,k} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot \overline{\varphi(x - k)} dx$.

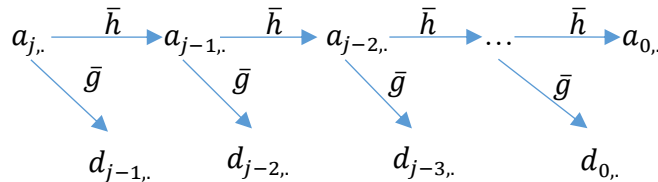
$$P_{i+1} f = \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_{i+1,k} \cdot \varphi_{i+1,k} \text{ với } a_{i+1,k} = \langle f, \varphi_{i+1,k} \rangle.$$

$$\Rightarrow a_{j,n} = \langle f, \varphi_{j,n} \rangle = \langle f, \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k \varphi_{j+1,2n+k} \rangle = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k a_{j+1,2n+k}.$$

Mặt khác: $Q_i f = \sum_{k \in \mathbb{Z}} d_{j,k} \psi_{j,k}$, với $d_{j,n} = \langle f, \psi_{j,n} \rangle = \langle f, \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k \cdot \varphi_{i+1,2n+k} \rangle$

$$= \sum_{k \in \mathbb{Z}} \overline{g_k} \cdot \langle f, \varphi_{j+1,2n+k} \rangle \Rightarrow d_{j,n} = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \overline{g_k} \cdot a_{j+1,2n+k}$$

Như vậy chúng ta có sơ đồ thuật toán phân tích wavelets [3] [6]:



Mặt khác ta cũng có: $P_{j+1} f = P_j f + Q_j f = \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_{j,k} \cdot \varphi_{j,k} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} d_{j,k} \cdot \psi_{j,k}$

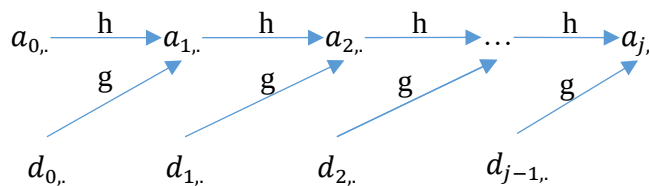
Và $a_{j+1,n} = \langle P_{j+1} f, \varphi_{j+1,n} \rangle$

$$= \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_{j,k} \cdot \langle \varphi_{j,k}, \varphi_{j+1,n} \rangle + \sum_{k \in \mathbb{Z}} d_{j,k} \cdot \langle \psi_{j,k}, \varphi_{j+1,n} \rangle$$

Đặt $\langle \varphi_{j,k}, \varphi_{j+1,n} \rangle = h_{2k-n}$ và $\langle \psi_{j,k}, \varphi_{j+1,n} \rangle = g_{2k-n}$

Ta được: $a_{j+1,n} = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{2k-n} a_{j,k} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_{2k-n} d_{j,k}$

Ta có sơ đồ thuật toán tổng hợp wavelets [3] [6]:



3.5. Wavelets và công nghệ ANC

3.5.1. Kỹ thuật lọc số và công thức tổng hợp

Tiếng ồn là một loại tín hiệu âm thanh thường gặp trong cuộc sống, do vậy ta có thể sử dụng wavelets để phân tích cả thành phần xấp xỉ lẫn thành phần chi tiết, qua đó giúp hạn chế sự mất mát thông tin, giữ lại được đặc tính địa phương để tiếp tục xử lý về sau.

Ở đây ta sử dụng thuật toán để phân tầng bộ lọc thành bộ lọc thông thấp, bộ lọc thông cao và lấy mẫu xuống, và gọi đó là kỹ thuật lọc số hay còn gọi là phép lọc gương cầu phương. Mỗi tín hiệu tiếng ồn được phân tích thành hai thành phần: thành phần xấp xỉ A (approximation) tương ứng với tần số thấp và thành phần chi tiết D (detail) tương ứng với tần số cao thông qua 2 bộ lọc thông thấp và thông cao. Bộ lọc thông cao sử dụng hàm wavelets $\psi(t)$, bộ lọc thông thấp sử dụng hàm tỉ lệ $\varphi(t)$ [7][8].

Các phép lọc được tiến hành với nhiều tầng khác nhau, và để khối lượng tính toán không tăng, tín hiệu tiếng ồn được lấy mẫu xuống 2 lần khi qua mỗi bộ lọc.

Như vậy tín hiệu gốc được đưa qua 2 bộ lọc, tạo ra 2 thành phần tín hiệu xấp xỉ và chi tiết. Các thành phần này có thể được lắp ráp lại thành tín hiệu ban đầu mà không mất thông tin. Quá trình lắp ráp này được gọi là tổng hợp.

Trong công thức (2) nếu ta đặt $a = a_0^m$, $b = n b_0 a_0^m$, $m, n \in \mathbb{Z}$ thì ta có họ wavelets $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ trở thành $\psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m} t - n b_0)$.

Khi đó ta có biến đổi wavelets rời rạc có các hệ số wavelets là:

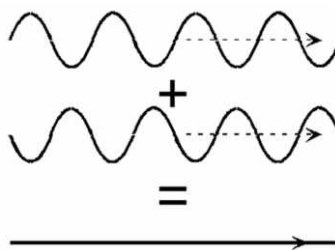
$$C_{m,n} = \langle f(t), \psi_{m,n}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \overline{\psi_{m,n}(t)} dt$$

và công thức tổng hợp tín hiệu là:

$$f(t) = \sum_{m \in \mathbb{Z}} \sum_{n \in \mathbb{Z}} C_{m,n} \psi_{m,n}(t).$$

3.5.2. Kiểm soát tiếng ồn chủ động ANC

ANC là phương pháp giảm hoặc loại bỏ tiếng ồn không mong muốn bằng một cách đặc biệt tạo ra âm thanh bổ sung để khử tiếng ồn ban đầu. Tiếng ồn là loại sóng sơ cấp (sóng P), có các giai đoạn nén và biến đổi đan xen nhau [9]. Thiết bị khử tiếng ồn sẽ phát ra sóng âm thanh có cùng biên độ nhưng ngược pha (nghĩa là lệch pha 180°) so với tín hiệu tiếng ồn gốc. Quá trình các sóng này kết hợp gọi là giao thoa và chúng sẽ triệt tiêu nhau [10,11]. Dựa trên đặc tính đó của tiếng ồn, người ta sẽ dùng một số thuật toán thích hợp trong đó có thuật toán wavelets để phân tích dạng sóng tiếng ồn, sau đó lại dựa vào thuật toán khác tạo ra tín hiệu ngược pha với tín hiệu tiếng ồn ban đầu.



Hình 4. Mô phỏng công nghệ ANC [12]

3.5.3. Kết hợp wavelets và công nghệ ANC

Giả sử chúng ta cần xử lý tiếng ồn như là một tín hiệu trong một khoảng thời gian mà ta lấy kí hiệu là f . Sử dụng thuật toán phân tích wavelets ta nhận được các đặc điểm của tín hiệu này như tần số, biên độ. Ngoài ra ta còn có thể nhận biết thêm một số đặc điểm khác như bước sóng, chu kỳ, vận tốc lan truyền... Sau đó nhờ thuật toán tổng hợp wavelets và công nghệ ANC ta sẽ tạo ra được tín hiệu f^- có đầy đủ tất cả đặc điểm của f nhưng có pha ngược lại với f . Kết hợp f^- và f , theo nguyên lý giao thoa thì tiếng ồn sẽ bị triệt tiêu.

4. KẾT LUẬN

Bài viết đã trình bày một số nội dung cơ bản của lý thuyết về wavelets, một lĩnh vực tương đối mới của toán học, và cũng là lĩnh vực có nhiều ứng dụng trong vật lý, công nghệ thông tin..., đồng thời xây dựng cơ sở toán học cho việc ứng dụng wavelets vào xử lý tiếng ồn, cụ thể là ứng dụng tính chất cơ bản của wavelets để hình thành các thuật toán phân tích và tổng hợp chúng, nhằm kết hợp thành công nghệ ANC để giảm và khử tiếng ồn.

Vấn đề xử lý tiếng ồn trong cuộc sống hiện nay có nhiều ích lợi trong thực tế và cũng là một vấn đề rất cấp thiết. Thuật toán wavelets này có nhiều khả năng được ứng dụng rộng rãi để thiết kế các hệ ANC, bổ sung vào các giải pháp đã có về xử lý tiếng ồn, làm cho cuộc sống của chúng ta thêm phần tiện nghi, thoải mái và chất lượng hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chen et al. (2022), *Wavelet-based denoising for speech enhancement*, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 54-66.
- [2] Li et al. (2023), *Adaptive wavelet thresholding for non-stationary noise suppression*, Journal of Signal Processing 4, 47-59.
- [3] W. Rudin (1991), *Functional Analysis*, McGraw-Hill, Inc, 12-22.
- [4] Daubechies (1993), *Ten Lectures on wavelets*, CBMS_NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, SIAM Philadelphia, 14-30.
- [5] M.Misiti and Y. Misit and G.Oppenheim (1997), *Wavelets Toolbox For Use with MATLAB*, The Math Works, Inc., Natick, MA 01760-1500, USA, 81-88.
- [6] Y. Meyer (1993), *Wavelets & Applications*, SIAM Philadelphia, 24-31.
- [7] S. Wen and W.Can and D. Shi (2020), *Using Empirical wavelets Transform to Speedup Selective Active Noise Control System*, The Journal of the Acoutical Society of America, 147-156.
- [8] Cheng and R. Zhang and S. Chen (2023), *Wavelets Packet Transform Applied to Active Noise Control System for Mixed Noise in Nonlinear Environment*, Digital Signal Processing, vol.133, 76-87.
- [9] Adam K. Smith and Jeffrey S. Vipperman and D. Budny (2005), *Adaptive multi-modal active noise control*. The Journal of the Acoustical Society of America, 62-78.
- [10] L. Luo and Wenzhaozhu and Antai Xie (2021), *A novel acoustic feedback compensation filter for nonlinear active noise control system*, Processing, vol.158, 103-115.
- [11] N.V.George and G. Panda (2013), *Advances in Active Noise Control: A Survey with Emphasis on Recent Nonlinear Techniques*, Signal Processing, vol.93, 125-136.
- [12] Joe Chang and Haas Tsai (2023), *What is Active Noise Control (ANC)*, RDA, JazzHipster, 16-24.

MATHEMATICAL BASIS OF THE WAVELETS APPLICATION METHOD IN ACTIVE NOISE CONTROL

Tran Thi Thanh Thuy

ABSTRACT

Noise is a phenomenon that is constantly present in our lives, the study of noise treatment has become an important practical issue. In this article, we would discuss a noise treatment method through wavelets analysis and synthesis algorithms combined with ANC active noise control technology. ANC uses special equipment to listen to ambient noise and then generate a second audio signal that has all the characteristics but is in the opposite phase to those noises. By the principle of interference, when the two opposite signals are combined, the noise will be canceled. Wavelets are a very effective tool for us to generate this second signal.

Keywords: Noise, algorithm, wavelets, ANC.

* Ngày nộp bài: 22/5/2025; Ngày gửi phản biện: 03/6/2025; Ngày duyệt đăng: 25/9/2025