

Development of a Noise Monitoring System for Automotive Cabins Based on LabVIEW and a Teensy Microcontroller

Quang Vu Le^{*}, Thanh Phuc Le

Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam

^{*}Corresponding author. Email: vulq@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 02/03/2026
Revised: 03/04/2026
Accepted: 02/06/2026
Online First: 17/06/2026
Published:

KEYWORDS

Noise;
LabVIEW;
Teensy;
INMP441;
OBD-II.

ABSTRACT

This paper presents the development and experimental evaluation of an in-cabin automotive noise monitoring system designed to acquire and analyze acoustic data for assessing the noise characteristics of different vehicle models. The system integrates multi-point sound pressure measurement within the cabin of passenger vehicles and provides real-time visualization through a computer-based interface. INMP441 acoustic sensors are installed at designated seating positions, transmitting signals to a central processing unit built on the Teensy platform, where signal processing and SPL computation are performed. Additionally, the processor retrieves engine speed and vehicle speed information from the vehicle's CAN network to serve as reference parameters. The measured data are displayed via a LabVIEW interface and stored in Excel format to facilitate comparative analysis. The system has been experimentally deployed on three vehicle models representing common market segments in Vietnam. Experimental results enable the assessment of cabin noise levels, comparison of acoustic characteristics among seating positions, and identification of noise variations under different operating conditions.

Phát triển hệ thống quan trắc tiếng ồn trên Cabin ô tô dựa trên nền tảng LabVIEW và vi điều khiển Teensy

Lê Quang Vũ^{*}, Lê Thanh Phúc

Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

^{*}Tác giả liên hệ. Email: vulq@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 02/03/2026
Ngày hoàn thiện: 03/04/2026
Ngày chấp nhận đăng: 02/06/2026
Ngày đăng trực tuyến: 17/06/2026
Ngày đăng:

TỪ KHÓA

Tiếng ồn;
Phần mềm LabVIEW;
Vi điều khiển Teensy;
Cảm biến INMP441;
Chuẩn OBD-II.

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng hệ thống quan trắc tiếng ồn trong cabin ô tô nhằm thu thập và phân tích dữ liệu phục vụ đánh giá mức độ ồn của từng dòng xe. Hệ thống được thiết kế tích hợp khả năng đo tiếng ồn tại nhiều vị trí trong cabin của xe du lịch, đồng thời hiển thị kết quả theo thời gian thực thông qua giao diện máy tính. Các cảm biến âm thanh INMP441 được bố trí tại các vị trí ghế ngồi, truyền tín hiệu về bộ xử lý trung tâm dựa trên nền tảng Teensy để thực hiện xử lý và tính toán SPL. Bên cạnh đó, bộ xử lý còn truy xuất dữ liệu từ mạng CAN của xe để lấy tốc độ động cơ và tốc độ xe làm thông số tham chiếu. Dữ liệu đo được hiển thị trực quan bằng giao diện LabVIEW và lưu trữ dưới dạng Excel để phục vụ so sánh và phân tích. Hệ thống đã được triển khai thử nghiệm trên ba dòng xe đại diện cho ba phân khúc phổ biến tại Việt Nam. Kết quả thực nghiệm cho phép đánh giá mức ồn trong cabin, so sánh độ ồn giữa các vị trí ghế và xác định sự khác biệt về độ ồn khi xe vận hành.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2026.2110>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Tiếng ồn trong ô tô khi vận hành là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới người ngồi trong xe cả về mặt sức khỏe và tinh thần. Chính vì thế trong thời gian gần đây, nghiên cứu về tiếng ồn và rung động trong ô tô đã được quan tâm rộng rãi bởi các nhà khoa học, nhà sản xuất và tổ chức tiêu chuẩn quốc tế. Các công trình tiêu biểu tập trung làm rõ cơ chế phát sinh tiếng ồn, bao gồm cả đường truyền qua không khí và kết cấu khung xe, từ đó xây dựng khung lý thuyết toàn diện về hiện tượng này, đồng thời đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm tăng khả năng cách âm và giảm rung động [1]–[4]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu tiếp cận bài toán từ góc độ cơ chế và mô hình hóa nguồn ồn, chỉ ra các yếu tố như nhiễu khí động, tiếp xúc lốp với mặt đường và dao động kết cấu có ảnh hưởng đáng kể đến mức ồn trong cabin [5]–[7]. Trên cơ sở đó, các hướng nghiên cứu hiện đại tập trung vào việc nhận dạng nguồn ồn và dự đoán tiếng ồn trong cabin dựa trên dữ liệu thực nghiệm và mô hình số, góp phần nâng cao độ chính xác trong đánh giá tiếng ồn [7]–[9]. Các nghiên cứu thực nghiệm trên xe thực tế cũng được triển khai nhằm đánh giá hiệu quả của các giải pháp giảm ồn, bao gồm cả kỹ thuật điều khiển chủ động và các phương pháp thích nghi [10]–[12]. Những nghiên cứu này cho thấy tiềm năng lớn trong việc cải thiện chất lượng tiếng ồn bên trong xe thông qua kết hợp giữa thiết kế vật lý và điều khiển tín hiệu. Xu hướng gần đây, các nghiên cứu tập trung vào việc phát triển các hệ thống đo và giám sát tiếng ồn thông minh. Các hệ thống nhúng chi phí thấp sử dụng cảm biến MEMS kết hợp vi điều khiển đã chứng minh hiệu quả trong việc xây dựng thiết bị đo tiếng ồn linh hoạt và có khả năng triển khai thực tế [13], [14]. Đáng chú ý, các nghiên cứu về thiết kế và tối ưu hóa cảm biến âm MEMS đã góp phần cải thiện đáng kể độ nhạy và độ ổn định, từ đó nâng cao độ chính xác của phép đo trong môi trường phức tạp [15]. Các cảm biến thương mại như INMP441 cũng được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống đo thực nghiệm nhờ tính nhỏ gọn và hiệu năng phù hợp [16]. Song song với đó, các quy chuẩn quốc tế như ISO 5128:2023 đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng phương pháp đo và đảm bảo tính nhất quán giữa các phép đo trong lĩnh vực ô tô [17]. Ngoài ra, các kỹ thuật xử lý tín hiệu số, đặc biệt là bộ lọc trọng số A-weighting, được áp dụng nhằm phản ánh chính xác cảm nhận âm thanh của con người trong quá trình đo lường [18]. Một số nghiên cứu gần đây còn khai thác các thiết bị phổ thông như điện thoại thông minh để đánh giá mức ồn, kết hợp với các phương pháp phân tích phổ theo thời gian thực [19]. Trong thực tế, việc triển khai hệ thống đo còn liên quan đến việc sử dụng các thiết bị đo chuyên dụng và tích hợp dữ liệu vận hành của xe. Các thiết bị đo mức âm thanh theo tiêu chuẩn quốc tế được sử dụng để hiệu chuẩn và kiểm chứng hệ thống [20], trong khi dữ liệu từ hệ thống CAN/OBD-II cho phép liên kết tiếng ồn với trạng thái hoạt động của xe, từ đó hỗ trợ phân tích nguyên nhân gây ồn một cách toàn diện [21].

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay vẫn mang tính rời rạc, chủ yếu tập trung riêng lẻ vào từng khía cạnh như mô hình hóa, thiết kế cảm biến, xử lý tín hiệu hoặc thực nghiệm, mà chưa tích hợp đầy đủ các thành phần trong một hệ thống quan trắc hoàn chỉnh dành riêng cho môi trường cabin ô tô. Do đó, việc phát triển một hệ thống giám sát tiếng ồn dựa trên sự kết hợp giữa cảm biến MEMS, xử lý tín hiệu số, tiêu chuẩn đo lường quốc tế và dữ liệu vận hành của xe là một vấn đề cần thiết. Nghiên cứu này sử dụng cảm biến INMP441 kết hợp thư viện xử lý âm thanh của vi điều khiển Teensy để thu thập dữ liệu mức ồn trong cabin, sau đó gửi về máy tính theo bốn kênh độc lập để hiển thị trên một giao diện máy tính chạy bằng phần mềm LabVIEW. Hệ thống này bước đầu cho phép thu thập dữ liệu đa kênh tạo nền tảng cho các nghiên cứu nâng cao nhằm cải thiện độ ồn trong cabin ô tô hiện đại.

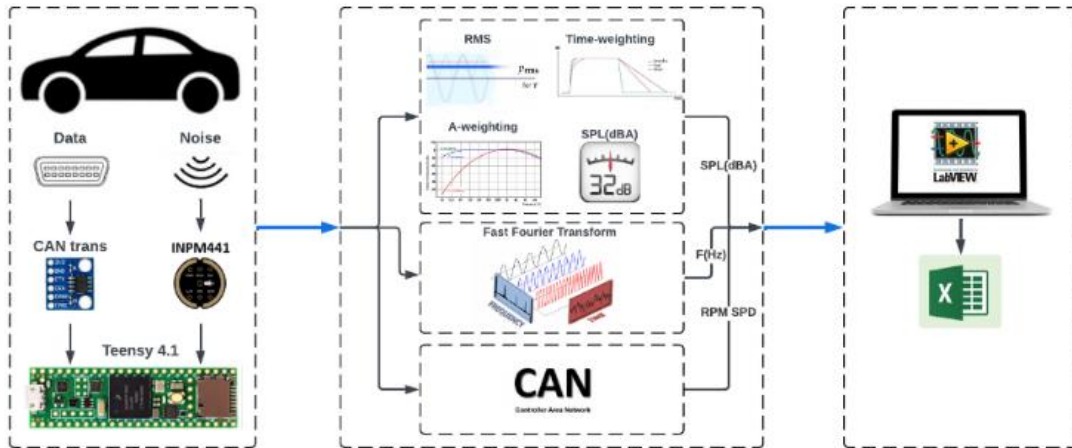
2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Xây dựng hệ thống quan trắc độ ồn

2.1.1. Thiết lập mô hình hệ thống thu thập xử lý âm thanh

Hệ thống thu thập tín hiệu độ ồn trên ô tô được thiết kế nhằm ghi nhận các dao động sóng âm thanh trong dải tần nghe được, thông qua ma trận cảm biến được bố trí tại nhiều vị trí bên trong khoang xe. Các tín hiệu này được truyền về bộ điều khiển trung tâm để xử lý sơ cấp. Trong quá trình xử lý, tín hiệu âm thanh được lọc và tách thành các dải tần đặc trưng nhờ thuật toán phân tích tần số được lập trình trong bộ điều khiển. Song song đó, hệ thống còn thu thập các thông số vận hành có ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính độ ồn, bao gồm tốc độ động cơ và tốc độ xe, thông qua mạng truyền thông CAN và cổng

chẩn đoán OBD-II. Toàn bộ dữ liệu sau khi xử lý được truyền đến máy tính chủ, nơi giao diện người dùng cho phép trực quan hóa phổ tần và phân bố năng lượng của các thành phần gây ồn trong cabin. Dữ liệu này đồng thời được lưu trữ để phục vụ cho việc đánh giá, so sánh và hiệu chuẩn trong các lần thử nghiệm khác nhau. Sơ đồ khối tổng thể của hệ thống cùng các luồng xử lý dữ liệu được thể hiện trong Hình 1, bao gồm ba khối chức năng chính: tính toán mức áp suất âm thanh (Sound Pressure Level – SPL), phân tích phổ tần số, và thu thập thông số tốc độ xe và tốc độ động cơ.



Hình 1. Sơ đồ tổng quan quy trình xử lý.

Trong Hình 1, cảm biến MEMS microphone *INMP441* được sử dụng để đo tín hiệu âm thanh, với khả năng giao tiếp kỹ thuật số thông qua chuẩn I²S. Cảm biến có độ nhạy 26 dB FS, đáp ứng tần số từ 60 Hz đến 15 kHz, mức nhiễu đầu vào tương đương (EIN) 33 dBA SPL, và ngưỡng đo tối đa 120 dB SPL, đáp ứng yêu cầu đo chính xác trong môi trường cabin ô tô. Bộ điều khiển trung tâm sử dụng vi điều khiển *Teensy 4.1*, trang bị hai cổng I²S, cho phép kết nối tối đa bốn cảm biến *INMP441*. Với bộ xử lý hiệu năng cao và thư viện *Teensy Audio*, hệ thống hỗ trợ xử lý tín hiệu âm thanh chất lượng CD (44.1 kHz, 16 bit), đủ khả năng tính toán các hàm phức tạp như giá trị hiệu dụng Root Mean Square – RMS, lọc số và biến đổi nhanh Fast Fourier Transform – FFT. Để thu thập dữ liệu vận hành từ xe, hệ thống sử dụng mô-đun CAN transceiver *SN65HVD230* đảm nhiệm giao tiếp giữa mạng CAN nội bộ của xe và vi điều khiển *Teensy*, đảm bảo tính ổn định và độ tin cậy trong quá trình truyền dữ liệu.

2.1.2. Nhận diện và xử lý tín hiệu âm thanh trong cabin ô tô

Sóng âm từ nguồn gây tiếng ồn trong cabin tác động một áp suất $p[Pa]$ tương ứng lên màng cảm biến *INMP441*. Từ giá trị áp suất này, hệ thống sẽ ước lượng thành đại lượng mức áp suất âm thanh – SPL (*Sound Pressure Level*). Giá trị SPL [dB] được xác định theo công thức (1) [16].

$$SPL = SPL_{ref} + 20 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right) \quad (1)$$

Trong đó p_{rms} được xác định theo công thức (2).

$$p_{rms} = \sqrt{\langle p^2(t) \rangle_t} = \sqrt{\frac{1}{N} \int_0^T p^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |p_n|^2} \quad (2)$$

Trong công thức (1) và (2): SPL_{ref} – Mức áp suất âm thanh tham chiếu [dB]; p_{ref} – Áp suất âm thanh tham chiếu ở tần số 1 kHz [Pa]; p_{rms} – Áp suất âm thanh hiện tại [Pa]; T – Khoảng thời gian đo [s]; t – Thời gian [s]; N – Mẫu thu thập; p_n – Giá trị áp suất thứ n .

Chọn điểm tham chiếu cảm biến INMP441 ở tần số 1 kHz tại 94 dB SPL tương ứng áp suất 1 Pa có độ nhạy tham chiếu là -26 dB FS [15] áp dụng vào công thức (1) ta có công thức (3).

$$SPL = 94 + 20\log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{1} \right) \quad (3)$$

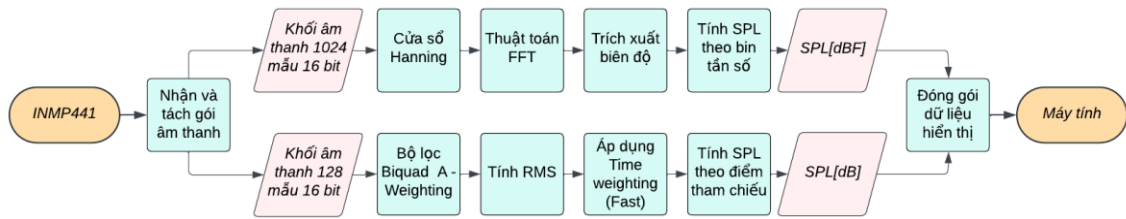
Giá trị p_{rms} trong công thức (3) là giá trị tiêu chuẩn, trong khi vi điều khiển Teensy cần chuẩn hóa biên độ áp suất âm thanh này sang hệ biên độ từ 0,0 đến 1,0 để thực hiện các thuật toán tách dữ liệu nên p_{rms} cần phải chuyển qua p_{rmsT} – là áp suất âm thanh quy đổi theo biên độ của Teensy. Để chuyển đổi giá trị này cần một điểm tham chiếu biên độ riêng p_{refT} . Tại điều kiện tham chiếu này INMP441 có độ nhạy -26 dB FS nên ta xác định p_{rmsT} theo công thức (4).

$$-26 = 20\log \left(\frac{p_{refT}}{1} \right) \quad (4)$$

Từ công thức (4) ta có $p_{refT} = 10^{-\frac{26}{20}} \approx 0,0501 [Pa]$. Thay giá trị áp suất tham chiếu và mức áp suất âm thanh ở điều kiện tham chiếu trên vào công thức (1) ta được công thức xác định SPL như (5).

$$SPL = 94 + 20\log_{10} \left(\frac{p_{rmsT}}{0,0501} \right) \quad (5)$$

Lưu đồ xác định SPL được xây dựng như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối xử lý, tính toán SPL từ tín hiệu âm thanh số cho mỗi micro.

Trong lưu đồ trên có hai luồng xử lý tín hiệu, luồng thứ nhất Teensy nhận khối dữ liệu từ INMP441 bao gồm 128 mẫu áp suất âm thanh có độ phân giải 16 bit tương đương với đoạn âm thanh có độ dài 2,9 ms. Khối dữ liệu này được đưa qua bộ lọc Biquad A-weighting là bộ lọc phần mềm trong thư viện Teensy theo tiêu chuẩn IEC 61672 thông qua hàm cài đặt các hệ số cơ bản [18]. Giá trị p_{rms} được tính trung bình theo công thức (2) với $N = 128$. Sau khoảng thời gian lấy mẫu 2,9 ms sẽ có một giá trị p_{rms} mới được tính toán, chuỗi giá trị liên tiếp p_{rms} được đưa vào bộ lọc Time weighting theo tiêu chuẩn IEC 61672 nhằm xấp xỉ sự biến thiên của giá trị áp suất âm hiệu dụng p_{rms} theo thời gian. Quá trình này được thực hiện thông qua phép lấy trung bình mũ (Exponential Moving Average – EMA), trong đó hằng số thời gian $T = 125$ ms tương ứng với chế độ Fast quy định trong các thiết bị đo mức áp suất âm thanh. Giá trị p_{rms} cuối cùng trong chuỗi lọc được áp dụng công thức (5) để tính giá trị SPL gửi lên máy tính.

Luồng thứ hai Teensy xác định SPL theo phổ tần số nhằm bóc tách các tần số gây ồn khi phân tích tiếng ồn trên cabin bằng cách xử lý từng khối âm thanh 1.024 mẫu 16 bit, với tần số lấy mẫu 44,1 kHz gần tương đương với độ phân giải phổ tần số là 43 Hz. Khối âm thanh này sẽ đưa qua hiệu ứng cửa sổ Hanning cho 1.024 mẫu để giữ nguyên biên độ của mẫu chính giữa và giảm dần biên độ về hai phía nên cường độ khối tín hiệu sẽ giảm đi 2 lần so với giá trị thật nhằm mục đích giảm rò rỉ phổ âm thanh. Khối mẫu này sau đó được Teensy thực hiện thuật toán Fast Fourier Transform – FFT để trích xuất biên độ. Với 1.024 mẫu áp suất âm thanh, thuật toán FFT chia ra 512 Bin tần số được chuẩn hóa từ $bin[0]$ tới $bin[511]$. Độ rộng mỗi bin là 43 Hz. Điều này có nghĩa là $bin[0]$ đại diện cho cường độ tín hiệu của dải tần từ 0 – 43 Hz và cho tới $bin[511]$ đại diện cho cường độ tín hiệu của dải tần từ 21.973 – 22.016 Hz.

SPL mỗi bin tần số $SPL_{bin[i]}$ được tính theo công thức:

$$SPL_{bin[i]} = 94 + 20 \log_{10} \left(\frac{2 \cdot p_{bin[i]}}{0,0501} \right) \quad (6)$$

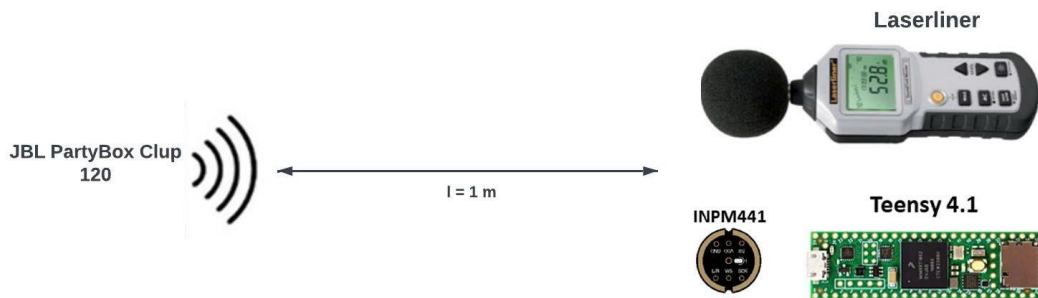
2.1.3. Hiệu chuẩn bộ đo độ ồn

Để giảm thiểu các yếu tố chủ quan khi phát triển bộ đo tiếng ồn, nghiên cứu tiến hành hiệu chỉnh hệ thống theo một thiết bị đo đã được kiểm chứng theo tiêu chuẩn quốc tế. Thiết bị lựa chọn là máy đo âm Class 2 Laserliner 082.070A có thông số như Bảng 1 [20].

Bảng 1. Thông số máy đo âm Class 2 Laserliner 082.070A.

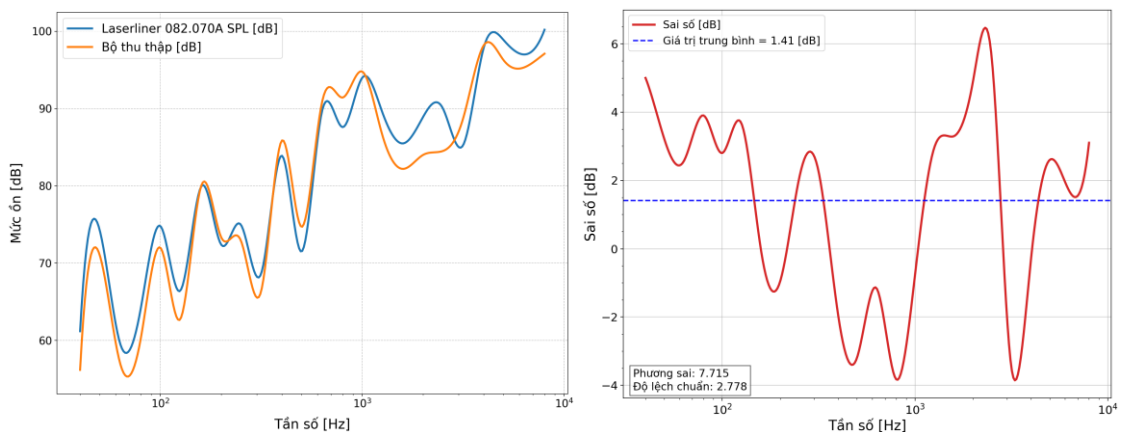
TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị và tính chất
1	Bộ lọc tần số	A-weighting, C-weighting
2	Bộ lọc thời gian	Time weighting fast, slow
3	Đáp ứng tần số	31,5 Hz – 8 kHz
4	Khoảng đo	30 dB – 130 dB
5	Độ chính xác của giá trị SPL	±1,5 dB (tại điều kiện 94 dB/ 1 kHz)
6	Độ phân giải SPL hiển thị	0,1 dB

Thí nghiệm thứ nhất, so sánh kiểm tra hiệu chỉnh độ ồn đo được từ hệ thống đang phát triển với máy đo chuẩn khi đặt thiết bị trong phòng kín. Thí nghiệm hiệu chỉnh được bố trí như Hình 3.



Hình 3. Bố trí hiệu chỉnh hệ thống thu thập âm thanh.

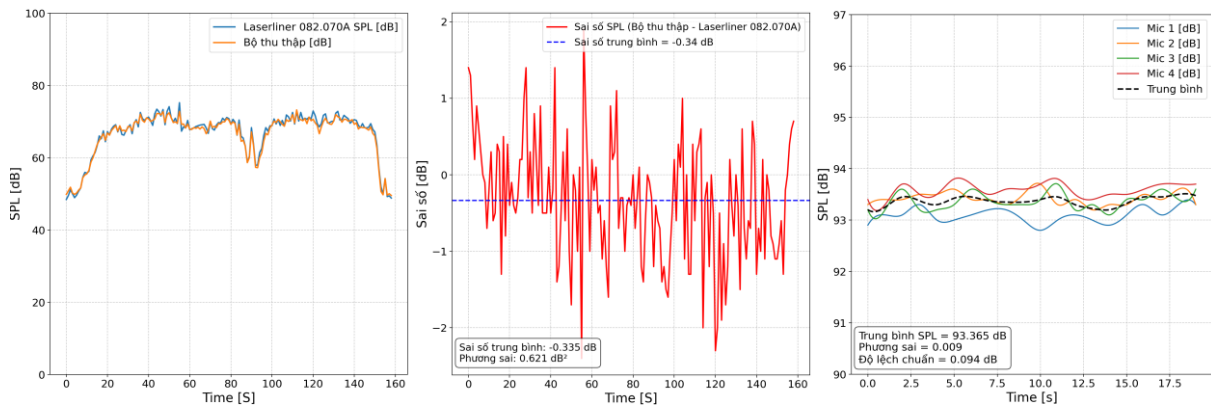
Trong đó âm thanh chuẩn đơn tần được phát ra từ loa JBL Partybox Club 120 trong môi trường yên tĩnh. Máy đo và hệ thống phát triển được đặt song song cách loa 1 m. Sau đó so sánh mức âm lượng và hiệu chỉnh lại bộ thu thập đang phát triển để giảm thiểu sai số. Mục tiêu là SPL của hệ thống phải gần nhất với máy đo trong một dải tần số xác định. Kết quả thí nghiệm có đặc tuyến so sánh, đặc tuyến sai số như Hình 4.



Hình 4. Sai số SPL giữa hệ thống với máy đo Laserliner trong dải tần từ 40 – 1.000 Hz.

Theo kết quả thể hiện trên Hình 4, đồ thị so sánh giữa mức áp suất âm thanh của hệ thống nghiên cứu và thiết bị đo chuẩn cho thấy sự tương đồng cao. Về mặt định tính, hai đặc tuyến gần như trùng khớp về hình dạng và xu hướng biến thiên theo tần số thí nghiệm, chứng tỏ hệ thống đo trong nghiên cứu có khả năng đáp ứng âm thanh tương đối chính xác. Tuy nhiên, khi xem xét định lượng, có thể nhận thấy sai số xuất hiện tại các dải tần số khác nhau, điều này phản ánh sự chênh lệch nhất định giữa hai thiết bị đo. Đặc biệt, vùng tần số từ 1 kHz đến 5 kHz ghi nhận biên độ sai số lớn nhất, cho thấy đây là miền cần chú ý trong việc hiệu chuẩn và xử lý tín hiệu. Trên toàn dải tần khảo sát, độ lệch trung bình giữa hai thiết bị là 1,41 dB, giá trị này nằm trong giới hạn cho phép của phép đo âm học thực nghiệm. Theo thống kê cho thấy phương sai là 7,751 dB², tương ứng với độ lệch chuẩn 2,778 dB, chứng minh độ ổn định và độ tin cậy tương đối cao của hệ thống đo được đề xuất.

Thí nghiệm thứ hai tiến hành so sánh kết quả đo độ ồn của hai hệ thống như trên trong môi trường cabin ô tô. Thí nghiệm tiến hành cố định cảm biến INMP441 với máy đo Laserliner lên một vị trí tựa đầu ghế trước, các cửa sổ đóng kín, tắt điều hòa, tiến hành cho xe chạy khoảng 3 km ở điều kiện mặt đường nhựa ngẫu nhiên, tốc độ không vượt quá 50 km/h. Giá SPL của máy đo và hệ thống sẽ được lưu vào Excel mỗi giây một lần. Kết quả thử nghiệm hiệu chỉnh cho thấy như Hình 5.

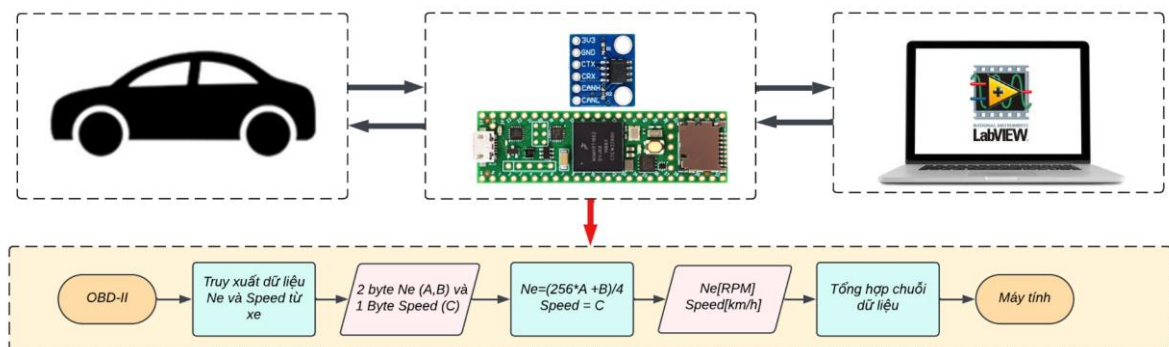


Hình 5. Giá trị SPL của Laserliner và hệ thống phát triển khi thử nghiệm trên xe.

Sai số đa phần dưới 1,5 dBA so với máy đo Laserliner. Tuy không đạt được độ chính xác quá cao nhưng cũng đạt mức chấp nhận được với micro giá rẻ như INMP441.

Giữ nguyên cách bố trí như hiệu chuẩn đáp ứng tần số nhưng cho loa phát white noise, cố định mức âm lượng, các micro lần lượt được cố định vào một vị trí duy nhất, tiến hành đo và lưu giá trị SPL cho từng micro.

2.1.4. Thu thập dữ liệu xe qua CAN



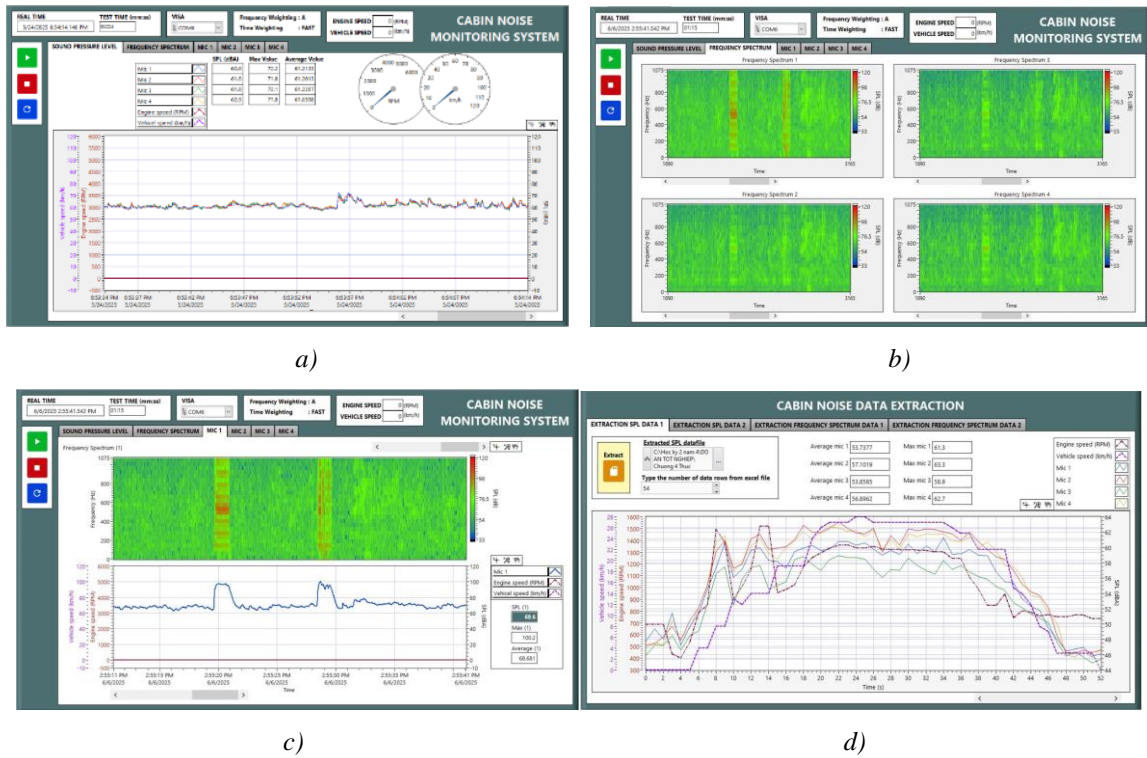
Hình 6. Cách thức giao tiếp truy xuất dữ liệu theo giao thức OBD II.

Khi xe hoạt động, hai thông số tác động mạnh nhất tới độ ồn trong cabin là tốc độ động cơ N_e [RPM] và tốc độ xe $Speed$ [km/h]. Để đánh giá khách quan các nguồn gây ồn trên xe, nghiên cứu thu thập hai thông số này thông qua mạng CAN. Theo tiêu chuẩn ISO 15765-4 [21], thiết bị yêu cầu truy xuất dữ

liệu từ cổng OBD-II có ID 0x7DF, mô-đun điều khiển động cơ và truyền lực có ID 0x7E8 tới 0x7EF. Dữ liệu tốc độ động cơ và tốc độ xe có địa chỉ PID 0x0C và 0x0D. Dữ liệu tốc độ động cơ bao gồm 2 byte dạng 16 bit được giải mã theo công thức quy định chung trong khi dữ liệu Speed chỉ có 1 byte được lấy trực tiếp giá trị. Sơ đồ kết nối và lưu đồ đọc giá trị hai thông số này được mô tả như Hình 6.

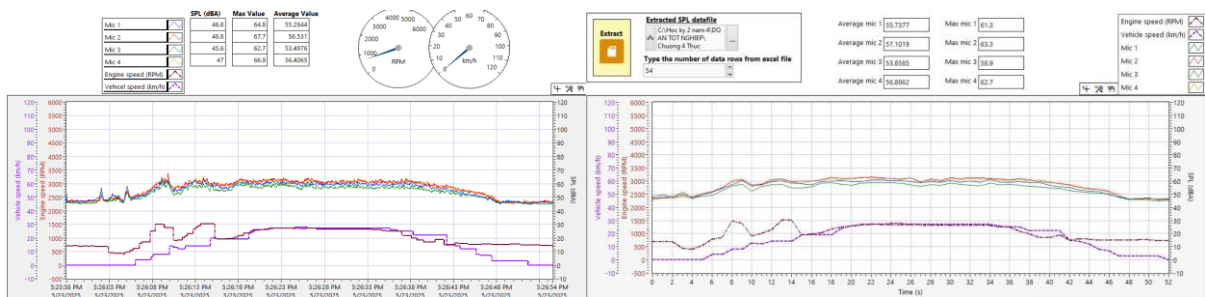
2.1.5. Lập trình giao diện hiển thị thông số

Dữ liệu về độ ồn, phổ tần số, tốc độ động cơ và tốc độ xe sau khi được xử lý bởi phần mềm lập trình chạy trên vi điều khiển Teensy 4.1 sẽ được tổng hợp thành chuỗi dữ liệu gửi lên máy tính thông qua cổng USB. Trên máy tính, một giao diện hiển thị thông tin được xây dựng bằng phần mềm LabVIEW với chức năng thu thập, xử lý, tính toán và hiển thị dữ liệu lên các biểu đồ để theo dõi tiếng ồn, phổ tần số theo thời gian thực. Đồng thời phần mềm có chức năng lưu toàn bộ giá trị quá trình quan trắc tiếng ồn vào ổ cứng máy tính dưới dạng bảng số định dạng Excel phục vụ cho việc truy xuất khi cần thiết. Giao diện chương trình máy tính về cấu trúc có đặc điểm như Hình 7.



Hình 7. Giao diện hiển thị dữ liệu trên máy tính.

Trong đó, Hình 7a là giao diện hiển thị tổng quát các thông số và đặc tuyến thử nghiệm. Hình 7b là giao diện hiển thị phổ tần số của 4 cảm biến trong khi Hình 7c hiển thị phổ tần số và biên độ từng cảm biến riêng khi được lựa chọn. Hình 7d là giao diện hiển thị thông số thử nghiệm truy xuất từ dữ liệu lưu trữ phục vụ cho việc so sánh đánh giá tiếng ồn khi cần thiết.

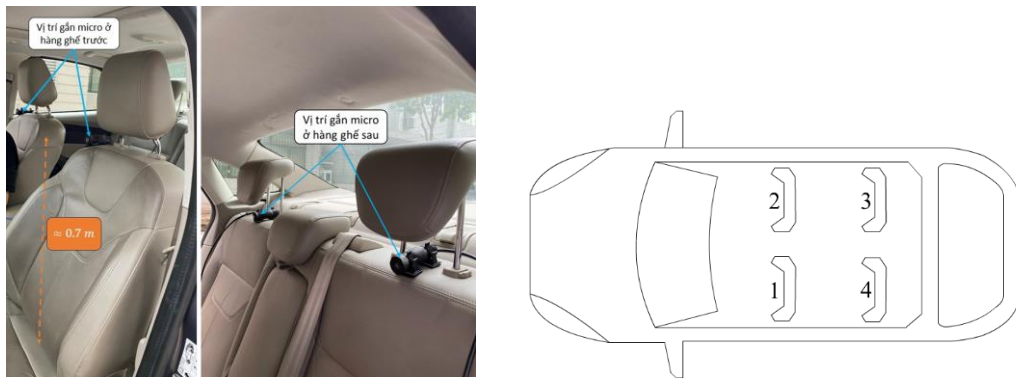


Hình 8. Kết quả đồ thị thực tế và khi trích xuất.

Ở chức năng hiển thị dữ liệu trích xuất từ bộ nhớ máy tính, để giảm lưu lượng, tốc độ lưu được chọn là 1.000 ms do đó dữ liệu các đồ thị khi khôi phục sẽ có độ phân giải thấp hơn so với khi thu thập theo thời gian thực. Điều này dẫn đến các đặc tuyến trích xuất không hiển thị được các xung nhiễu âm đột xuất như những tiếng chấn động đột ngột hay những tín hiệu thay đổi tức thời có thể bị bỏ sót. Tuy nhiên, xem xét một cách tổng thể để phân tích tiếng ồn có tính chất liên tục trong khoảng thời gian dài thì dữ liệu đủ khả năng đáp ứng. Sự khác nhau này được thể hiện như Hình 8.

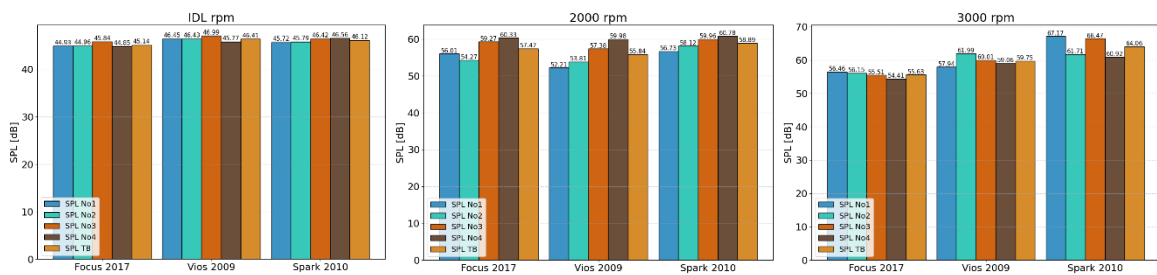
2.2. Thử nghiệm hệ thống

Để bước đầu đánh giá một số chức năng của bộ đo, nghiên cứu tiến hành gắn thiết bị lên xe thực tế để tiến hành thu thập thông tin về tiếng ồn trong cabin. Hệ thống bao gồm 4 cảm biến được bố trí trên phần tựa đầu của ghế ngồi, sát với tai của người ngồi trên xe và được đánh số từ 1 đến 4 để tiến hành thử nghiệm. Cách bố trí này được mô tả như Hình 9.



Hình 9. Vị trí gắn tương ứng cho từng cảm biến âm thanh-Micro.

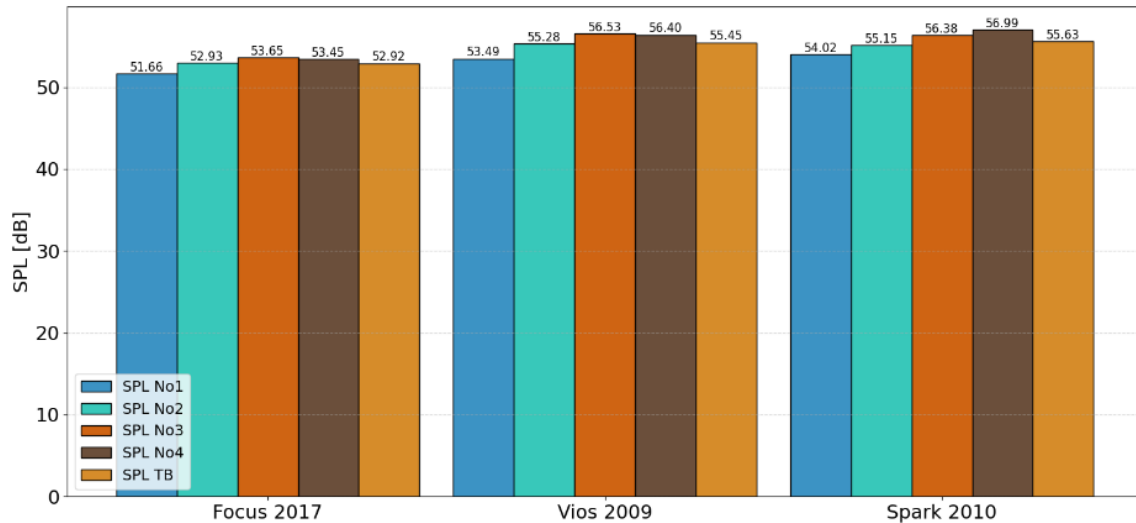
Nghiên cứu thử nghiệm được tiến hành trên ba xe thuộc các phân khúc khác nhau bao gồm Ford Focus 2017 (hạng C), Toyota Vios 2009 (hạng B) và Chevrolet Spark 2010 (hạng A). Căn cứ tiêu chuẩn ISO 5128:2023 [17], điều kiện đo được thiết lập với các thông số vận hành tương đồng nhằm bảo đảm tính so sánh giữa các xe. Thí nghiệm thứ nhất thực hiện khi xe đứng yên để đánh giá mức độ lan truyền tiếng ồn từ động cơ vào cabin. Các phép đo tiến hành tại ba chế độ tốc độ động cơ: cầm chừng, 2000 rpm và 3000 rpm, thời gian mỗi lần đo là 15 s. Kết quả được trình bày trong Hình 10. Trong đó, SPL_{tb} No1 tới SPL_{tb} No4 là giá trị trung bình SPL của các cảm biến theo thứ tự như Hình 9; SPL_{tb} là mức ồn trung bình tổng hợp.



Hình 10. Thông số thử nghiệm trong điều kiện xe không di chuyển.

Từ các thông số trong Hình 10 cho thấy giá trị thu được từ bốn cảm biến bố trí tại các vị trí khác nhau trên xe phản ánh mức độ ồn không đồng nhất. Giá trị trung bình SPL_{tb} có xu hướng tăng rõ rệt khi tốc độ động cơ tăng từ chế độ cầm chừng lên 2000 rpm và 3000 rpm ở cả ba mẫu xe. Ford Focus 2017 thể hiện đặc tính ổn định nhất, với biên độ dao động SPL nhỏ và độ phân tán thấp, phản ánh chất lượng cách âm khoang lái tốt hơn. Ngược lại, Chevrolet Spark 2010 ghi nhận mức SPL tăng mạnh tại 3000 rpm, đặc biệt ở các cảm biến đặt tại hàng ghế trước với mức ồn cao hơn. Điều này cho thấy hệ thống cách âm giữa khoang động cơ và cabin của dòng xe này chưa hiệu quả. Toyota Vios 2009 duy trì giá trị SPL trung bình ở mức trung gian giữa hai xe trên, với xu hướng gia tăng tương đối đồng đều và ít biến động bất thường.

Thí nghiệm thứ hai được thực hiện trong điều kiện xe di chuyển nhằm đánh giá mức độ tiếng ồn từ mặt đường truyền vào cabin. Thử nghiệm được tiến hành trên quãng đường giới hạn 250 m, chia thành ba giai đoạn. Trong 50 m đầu, xe tăng tốc từ 0 đến 30 km/h với tốc độ động cơ không vượt quá 2000 rpm; 150 m tiếp theo xe duy trì vận tốc ổn định 30 km/h; 50 m cuối cùng xe giảm tốc dần về 0 km/h. Mục đích của thử nghiệm này là so sánh mức ồn trong các trạng thái tăng tốc, chuyển động ổn định và giảm tốc của từng xe. Tuy nhiên, do mỗi mẫu xe có hệ thống truyền động và đặc tính động cơ khác nhau nên việc so sánh trực tiếp các đặc tuyến gặp nhiều khó khăn. Ngoài ra, điều kiện bãi thử chưa bảo đảm tính chuẩn hóa cao, vì vậy thí nghiệm chỉ tập trung xác định mức ồn trung bình trên toàn bộ quãng đường khảo sát. Kết quả được trình bày trong Hình 11.



Hình 11. Thông số thử nghiệm trong điều kiện xe di chuyển.

Thông số trong Hình 11 cho thấy khi xe di chuyển ở tốc độ thấp, tiếng ồn trong cabin không phải từ động cơ mà chủ yếu phát sinh từ tiếp xúc giữa lốp và mặt đường truyền vào cabin. Do đó, mức ồn ghi nhận tại hai cảm biến bố trí ở hàng ghế sau cao hơn so với hàng ghế trước do vị trí này gần bánh xe hơn. Bên cạnh đó, giá trị trung bình độ ồn thể hiện sự khác biệt rõ rệt giữa ba mẫu xe khảo sát. Ford Focus 2017 duy trì SPL_{tb} thấp nhất tại tất cả các vị trí đo, dao động khoảng 52–54 dB, trong khi Toyota Vios 2009 và Chevrolet Spark 2010 ghi nhận SPL_{tb} cao hơn, đặc biệt tại hàng ghế sau với mức xấp xỉ 56–57 dB. Kết quả này phản ánh khả năng cách âm của mẫu Focus vượt trội so với hai mẫu còn lại khi vận hành trên đường. Nhìn chung, hệ thống quan trắc cho phép khẳng định Ford Focus đạt hiệu quả cách âm tốt hơn, trong khi Vios và Spark cần được xem xét cải thiện đặc tính cách âm trong điều kiện xe di chuyển.

3. Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển thành công hệ thống thu thập và phân tích tiếng ồn trên ô tô, hiển thị thông số thông qua giao diện máy tính được xây dựng trên nền tảng LabVIEW, đồng thời có khả năng lưu trữ dữ liệu thí nghiệm. Bên cạnh đó, hệ thống truy xuất hai thông số hoạt động của ô tô có ảnh hưởng trực tiếp đến tiếng ồn, bao gồm tốc độ động cơ và tốc độ xe, nhằm làm dữ liệu tham chiếu. Bộ phận thu thập tiếng ồn đã được hiệu chỉnh so với một thiết bị chuẩn hóa theo tiêu chuẩn đo tiếng ồn công nghiệp, với sai số nằm trong ngưỡng cho phép. Hệ thống gồm bốn kênh cảm biến bước đầu đã được thử nghiệm trên ba dòng xe khác nhau, đại diện cho ba phân khúc xe phổ biến tại Việt Nam. Dữ liệu thu được từ các thử nghiệm cơ bản cho phép đánh giá mức độ cách âm và độ ồn tại các vị trí khác nhau của người ngồi trong cabin.

Mặc dù đạt được những kết quả ban đầu quan trọng, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế cần tiếp tục cải tiến. Trước hết, nghiên cứu mới chỉ tập trung vào việc xây dựng hệ thống đo âm thanh ở giai đoạn thử nghiệm, do đó nhiều chi tiết chưa đạt mức hoàn thiện về tính thẩm mỹ và độ bền công nghiệp. Bên cạnh đó, do gặp khó khăn trong việc thiết lập điều kiện thử nghiệm, phạm vi thử nghiệm còn hạn

chế khi mới áp dụng trên số lượng xe ít và chưa khảo sát đầy đủ các điều kiện đặc trưng của giao thông tại Việt Nam.

Định hướng phát triển của nghiên cứu là chuẩn hóa hệ thống đo, nâng cao độ ổn định của phần cứng, đồng thời mở rộng số lượng kênh thu nhằm tiến tới xây dựng bản đồ tiếng ồn ba chiều trong cabin theo biên độ và phân bố phổ tần. Qua đó, tăng cường khả năng đánh giá và so sánh mức độ ồn giữa các dòng xe trong điều kiện vận hành thực tế.

Lời cảm ơn

Tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành Phố Hồ Chí Minh đã cấp kinh phí thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở mã số T2026 - 74. Chân thành cảm ơn phòng thí nghiệm Cơ Điện Tử Ô tô, Khoa Giao Thông và Năng Lượng, Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành Phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thiết bị thí nghiệm.

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.


TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Wang, *Vehicle Noise and Vibration Refinement*. New Delhi, India: Woodhead Publishing, 2010.
- [2] J. Masri, M. Amer, S. Salman, M. Ismail, and M. Elsis, "A survey of modern vehicle noise, vibration, and harshness: A state-of-the-art," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 10, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.102957.
- [3] *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe, 2018.
- [4] A. P. G. Peterson, *Handbook of Noise Measurement*. Cambridge, MA, USA: General Radio Company, 1980.
- [5] T. Zou, Y. Fu, and P. Cao, "Vehicle aerodynamic noise: A systematic review of mechanisms, simulation methods, and bio-inspired mitigation strategies," *Biomimetics*, 2026, doi: 10.3390/biomimetics11020099.
- [6] X. Yang, G. Yang, and X. Liu, "The mechanism and control of low-frequency road noise in a certain hatchback car," *Vibroengineering Procedia*, vol. 58, pp. 87–93, May 2025, doi: 10.21595/vp.2025.24746.
- [7] H. Sun *et al.*, "Measurement and prediction of tire-road noise inside vehicle cabins," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 182, Art. no. 109521, 2023.
- [8] Y. Zhang *et al.*, "Data-driven methods for in-cabin noise identification in electric vehicles," *Applied Acoustics*, vol. 215, Art. no. 109544, 2024.
- [9] H. Hassine, H. Chaieb, and J. Louati, "Machine learning and experimental approaches for modeling and studying the effects of vehicle operating conditions on interior noise," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2025, doi: 10.1080/02533839.2025.2529396.
- [10] Q. Xu, S. Wang, J. Tao, H. Zou, and X. Qiu, "Creating personal sound zones in car cabins with active noise control," *Applied Acoustics*, vol. 235, Art. no. 110670, May 2025, doi: 10.1016/j.apacoust.2025.110670.
- [11] Q. Chen *et al.*, "Experimental study on active noise measurements in vehicle interiors," *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol. 42, no. 4, pp. 856–871, 2023.
- [12] X. Bai *et al.*, "In-cabin road noise measurement and control in electric vehicles using adaptive filtering," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 71, no. 9, pp. 9182–9194, 2022.
- [13] M. O. Jakobsen, "Low cost MEMS accelerometer and microphone based condition monitoring sensor, with LoRa and Bluetooth LowEnergy radio," *HardwareX*, vol. 18, Art. no. e00525, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1016/j.ohx.2024.e00525.
- [14] T. H. Peng, H. J. Hsu, and J. H. Huang, "Analysis of structural design variations in MEMS capacitive microphones," *Sensors*, vol. 25, no. 3, Art. no. 900, Feb. 2025, doi: 10.3390/s25030900.
- [15] InvenSense Inc., *INMP441 Datasheet*, May 21, 2014.
- [16] F. R. de Mello, W. D'A. Fonseca, and P. H. Mareze, "MEMS digital microphone and Arduino compatible microcontroller: An embedded system for noise monitoring," *Noise Control Eng.*, Aug. 2021, pp. 3921–3932, doi: 10.3397/IN-2021-2557.
- [17] International Organization for Standardization, *ISO 5128:2023—Acoustics: Measurement of Noise Inside Motor Vehicles*. Geneva, Switzerland: ISO, 2023.
- [18] R. Pilipović, V. Risojević, and P. Bulić, "On the design of an energy efficient digital IIR A-weighting filter using approximate multiplication," *Sensors*, vol. 21, no. 3, Art. no. 732, 2021.
- [19] M. Celestina, J. Hrovat, and C. A. Kardous, "Smartphone-based sound level measurement apps: Evaluation of compliance with international sound level meter standards," Elsevier Ltd., USA, 2017.
- [20] Laserliner, *Sound Level Meter 082.070A User Manual*, 2025.
- [21] S. Çeven, A. Albayrak, and R. Bayır, "Development of CAN and OBD-II supported experimental setup for vehicle ECU data acquisition," in *Proc. 2022 Int. Conf. Artificial Intelligence of Things (ICAIoT)*, Istanbul, Turkey, Dec. 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAIoT57170.2022.10121880.

Quang Vu Le received the B.E. degree in vehicle engineering from Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam, in 2007 and the M.E. degree in vehicle engineering from the same university in 2014. His research interests include automotive electrical and electronic systems, automotive control systems, embedded systems, and intelligent vehicle technologies. His research focuses on automotive electronics, vehicle control applications, electric vehicles, and intelligent transportation systems.

Email: vulq@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0293-4880>. Phone: 0973777077.

Thanh Phuc Le received the B.E. degree in automotive engineering from Ho Chi Minh city University of Technology and Engineering, Vietnam, in 2004 and the M.E. degree in automotive engineering from Ho Chi Minh city University of Technology and Engineering, Vietnam, in 2007. He received PhD degree in mechanical engineering from Concordia University in Montreal Canada in 2013. His research interest is on electric vehicles, vehicle dynamics, driver models and engine control. His published paper is related to controlling of electric motorbikes, impaired driver model, PWM technique applied on induction motor.

Email: phuclt@hcmute.edu.vn. ORCID:  <https://orcid.org/0009-0004-0272-099X>