

MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT HỆ THỐNG PHANH KHẨN CẤP TỰ ĐỘNG (AEB) TRÊN XE ĐIỆN

SIMULATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF AN AUTONOMOUS EMERGENCY BRAKING (AEB) SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

Nguyễn Quốc Triệu¹, Lê Văn Nghĩa^{1*}, Đàm Hoàng Phúc¹, Trần Trọng Đạt¹, Phan Văn Phúc²

¹Khoa Cơ khí Động lực, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Khoa Kỹ thuật ô tô, Trường Đại học Văn Lang

*Email: nghia.levan@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Hệ thống phanh khẩn cấp tự động (AEB) là một công nghệ quan trọng trong các hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến (ADAS), giúp cải thiện tính an toàn của phương tiện. Bài báo này trình bày phương pháp mô phỏng và đánh giá hiệu quả của hệ thống AEB trên xe điện VFe34 bằng phần mềm chuyên dụng. Mô hình mô phỏng bao gồm mô hình động lực học phương dọc của xe điện, thuật toán phát hiện và phân loại vật cản dựa trên cảm biến, và bộ điều khiển AEB sử dụng thuật toán điều chỉnh lực phanh phù hợp. Kịch bản thử nghiệm bao gồm tình huống có thể xảy ra va chạm khi di chuyển ở dải tốc độ 50km/h. Kết quả cho thấy hệ thống AEB có thể giảm đáng kể vận tốc trước va chạm hoặc tránh hoàn toàn va chạm. Nghiên cứu này cho thấy hiệu quả của các thuật toán điều khiển tới việc đảm bảo khả năng phản ứng nhanh và chính xác của hệ thống trong các tình huống khẩn cấp.

Từ khóa: AEB; Mô phỏng; Động lực học; Xe điện.

ABSTRACT

The Autonomous Emergency Braking (AEB) system is a critical technology in Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), enhancing vehicle safety. This paper presents a simulation-based approach to evaluating the effectiveness of the AEB system on the VFe34 electric vehicle using specialized software. The simulation model integrates the longitudinal dynamics of the electric vehicle, an obstacle detection and classification algorithm based on sensor data, and an AEB controller employing an adaptive braking force modulation algorithm. The test scenario focuses on a potential collision situation at a speed of 50 km/h. The results demonstrate that the AEB system can significantly reduce pre-impact velocity or, in some cases, prevent collisions entirely. This study highlights the effectiveness of control algorithms in ensuring the system's rapid and accurate response to emergencies.

Keywords: AEB; Simulation; Vehicle dynamics; Electric vehicle.

1. TỔNG QUAN

Trong những năm gần đây, các hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) đã trở thành một phần quan trọng trong ngành công nghiệp ô tô, giúp cải thiện đáng kể mức độ an toàn cho cả người lái và người tham gia giao thông. Trong đó, AEB được đánh giá là một trong những công nghệ quan trọng giúp giảm thiểu số vụ tai nạn do va chạm với vật cản phía trước, đặc biệt trong bối cảnh gia tăng mật độ giao thông đô thị và nhu cầu nâng cao tính an toàn cho phương tiện [1]. Theo công bố của tổ chức Y tế thế giới, mỗi năm có khoảng 1,35 triệu người chết do tai nạn giao thông [2]. Vì vậy, việc nâng cao hiệu quả của các công nghệ an toàn là vô cùng cần thiết.

Một số nghiên cứu đã chứng minh rằng AEB có thể giảm đáng kể tốc độ khi va chạm và cải thiện mức độ an toàn. Nghiên cứu của Khayyat [3] đã phát triển và thử nghiệm một hệ thống AEB kết nối 5G tại các giao lộ, cho thấy hiệu quả trong việc giảm thiểu va chạm tại các ngã tư. Ngoài ra, Kovaceva [4] đã đánh giá lợi ích an toàn của hệ thống AEB và hệ thống lái tự động trong việc bảo vệ người đi xe đạp và người đi bộ, thông qua việc kết hợp mô phỏng máy tính và kết quả thử nghiệm thực tế. Mặc dù các nghiên cứu trước đã đạt được nhiều tiến bộ, nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế. Đa số các nghiên cứu tập trung vào xe động cơ đốt trong, trong khi xe điện có đặc tính động lực học khác biệt do hệ thống truyền động và phản ứng phanh khác nhau. Hơn nữa, nhiều nghiên cứu chủ yếu sử dụng dữ liệu thử nghiệm trong điều kiện lý tưởng, chưa đánh giá đầy đủ hiệu suất của AEB trong môi trường giao thông thực tế với các tình huống phức tạp.

Nghiên cứu này tập trung vào việc mô phỏng và đánh giá hiệu suất của hệ thống AEB

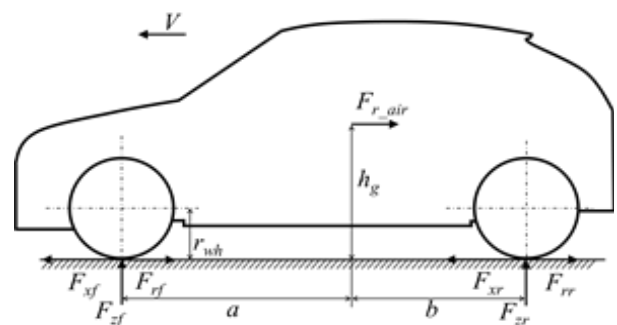
trên xe điện VFe34 bằng phần mềm chuyên dụng. Mô hình mô phỏng bao gồm động lực học phương dọc của xe điện, cảm biến phát hiện vật cản, và bộ điều khiển AEB sử dụng thuật toán điều chỉnh lực phanh thích hợp. Bằng cách sử dụng mô phỏng, nghiên cứu có thể kiểm tra nhiều kịch bản khác nhau mà không cần thử nghiệm trực tiếp trên phương tiện thực tế, từ đó cung cấp một giải pháp an toàn và tiết kiệm chi phí trong giai đoạn phát triển hệ thống. Kết quả từ nghiên cứu sẽ cung cấp thêm hiểu biết về khả năng ứng dụng của hệ thống AEB trên xe điện và đề xuất các phương pháp tối ưu hóa thuật toán điều khiển nhằm nâng cao hiệu suất và độ an toàn của phương tiện trong tương lai.

2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

2.1. Động lực học phương dọc

Các lực tác dụng theo phương dọc của xe bao gồm: lực dọc F_{xf} , F_{xr} , lực cản lăn F_{rf} , F_{rr} , lực cản khí động F_w . Phương trình động lực học của xe theo phương dọc được biểu diễn như sau [5]:

$$F_{xf} + F_{xr} - (F_{rf} + F_{rr} + F_w) = m\dot{v} \quad (1)$$



Hình 1. Mô hình động lực học phương dọc

Khi ô tô thực hiện quá trình phanh, sẽ xuất hiện lực quán tính F_q :

$$F_q = j_p \frac{G}{g} \quad (2)$$

Với, j_p là gia tốc phanh (m/s^2), G là trọng lượng toàn bộ xe (N), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Khi đó, momen phanh tại cầu trước và cầu sau được phân bổ lại [6] theo công thức sau:

$$M_{p1} = \frac{Gb}{L} \left(1 + \frac{j_p h_g}{gb} \right) \varphi r_{wh} \quad (3)$$

$$M_{p2} = \frac{Ga}{L} \left(1 - \frac{j_p h_g}{ga} \right) \varphi r_{wh}$$

Trong đó, a , b lần lượt là khoảng cách từ trọng tâm đến tâm cầu trước và cầu sau xe (m), L là chiều dài cơ sở (m), h_g là chiều cao trọng tâm xe (m), φ là hệ số bám, r_{wh} là bán kính bánh xe (m).

2.2. Thuật toán điều khiển AEB

Bộ điều khiển của hệ thống AEB trong nghiên cứu này được thiết kế nhằm đánh giá hiệu quả của hệ thống trong tình huống xe bám theo phương tiện phía trước và phản ứng khi phương tiện này phanh đột ngột. Bộ điều khiển đảm bảo khả năng kích hoạt phanh tự động kịp thời nhằm giảm thiểu tác động hoặc tránh va chạm hoàn toàn.

Thời điểm kích hoạt phanh trong hệ thống AEB được xác định dựa trên chỉ số thời gian đến lúc va chạm (Time-to-Collision – TTC) [7]. Chỉ số TTC được tính theo công thức:

$$TTC = \frac{\Delta D}{|v_t - v_s|} \quad (4)$$

Trong đó:

- ΔD là khoảng cách giữa xe phía trước và xe chủ động;
- v_t là vận tốc của xe phía trước;
- v_s là vận tốc của xe chủ động.

Giá trị TTC càng nhỏ, nguy cơ va chạm càng cao, và hệ thống AEB sẽ đưa ra quyết định phanh khẩn cấp khi TTC giảm xuống dưới một ngưỡng giới hạn an toàn được xác định trước. Khi đó, thời gian cảnh báo va chạm từ lúc xe di chuyển cho đến khi va chạm được tính bằng công thức:

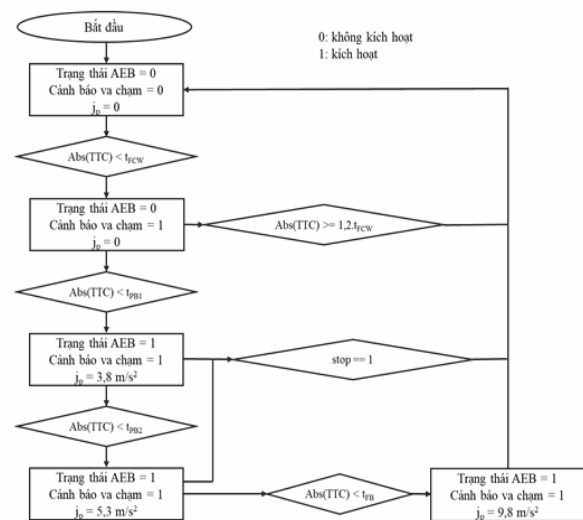
$$t_{FCW} = \tau_{react} + \tau_{stop}$$

$$\text{với } \tau_{stop} = \frac{v_s}{j_p} \quad (5)$$

Do thời gian kích hoạt của hệ thống AEB phụ thuộc vào TTC, vì vậy các giá trị gia tốc phanh tương ứng với từng chế độ phanh đã được nghiên cứu và lựa chọn. Giá trị cụ thể được trình bày chi tiết trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị gia tốc phanh theo từng chế độ

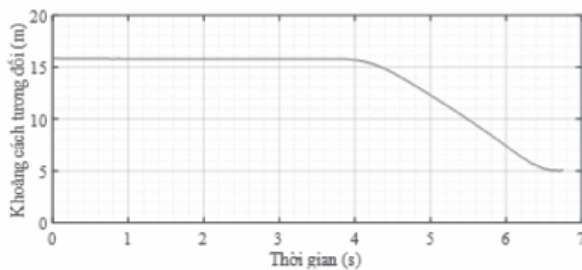
Chế độ	Gia tốc phanh (m/s^2)	Giải thích
PB1	3.8	Phanh một phần
PB2	5.3	Phanh một phần
FB	9.8	Phanh toàn phần



Hình 2. Thuật toán điều khiển AEB

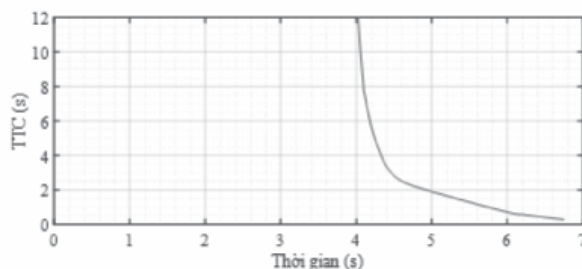
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Kịch bản mô phỏng được thiết kế với khoảng cách ban đầu giữa hai xe là 16m, xe trước và xe chủ động cùng chạy với vận tốc 50 km/h, sau 4 giây xe trước đột ngột giảm tốc độ. Kết quả về phản ứng của hệ thống AEB được thể hiện như trong hình 3, 4, 5.



Hình 3. Khoảng cách tương đối giữa hai xe

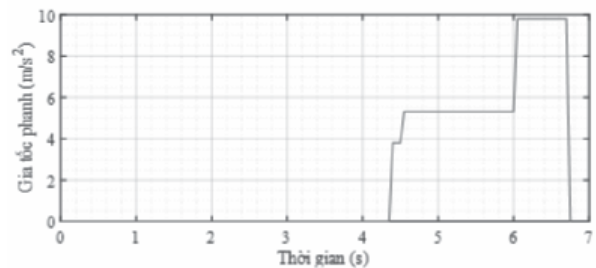
Trong 4 giây đầu, khoảng cách tương đối giữa hai xe không đổi do cả hai xe đang di chuyển với tốc độ ổn định. Khi khoảng cách tương đối giảm nhanh do xe trước giảm tốc độ đột ngột, hệ thống AEB phát hiện nguy cơ va chạm và kích hoạt phanh để giảm tốc độ. Khi kết thúc quá trình phanh, khoảng cách giữa hai xe là 5m, chứng tỏ hệ thống AEB đã hoạt động hiệu quả trong việc giảm thiểu và ngăn ngừa nguy cơ xảy ra va chạm.



Hình 4. Thời gian đến khi va chạm

Trong giai đoạn đầu, thời gian đến khi va chạm (TTC) lớn cho thấy khoảng cách tương đối giữa hai xe lớn hơn khoảng cách an

toàn. Khi xe trước phanh đột ngột, TTC giảm nhanh, hệ thống AEB đã kích hoạt phanh để kéo dài thời gian này. Khi kết thúc quá trình phanh, TTC được duy trì ở mức an toàn, cho thấy hệ thống AEB đã ngăn chặn thành công va chạm chứng tỏ hệ thống AEB đạt hiệu quả trong việc kéo dài thời gian đến khi va chạm, giúp người lái có thêm thời gian để phản ứng và tránh va chạm.



Hình 5. Gia tốc phanh trong quá trình hệ thống kích hoạt

Trong giai đoạn đầu, gia tốc phanh bằng 0 do cả hai xe đang di chuyển với tốc độ ổn định. Khi hệ thống AEB phát hiện nguy cơ va chạm do xe trước phanh đột ngột, gia tốc phanh tăng theo các mức tương ứng với chế độ phanh ở Bảng 1, đạt giá trị cao nhất (9.8 m/s^2) ở chế độ phanh toàn phần (FB). Sau đó, gia tốc phanh giảm dần, cho thấy hệ thống đã kiểm soát được tốc độ và tránh được va chạm. Như vậy, hệ thống AEB có khả năng phản ứng nhanh và hiệu quả trong các tình huống khẩn cấp, đảm bảo an toàn cho người lái và hành khách.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xây dựng thuật toán điều khiển cho hệ thống phanh khẩn cấp tự động trên xe VFe34 bằng phần mềm mô phỏng chuyên dụng. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển AEB được đề xuất có khả năng tính toán khoảng cách an toàn và kích hoạt phanh hiệu quả trong tình huống khẩn cấp khi xe trước



đột ngột giảm tốc và dừng lại với khoảng cách tương đối là 5m. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng việc tối ưu hóa thuật toán điều khiển có thể giúp cải thiện hơn nữa hiệu suất của hệ thống, đặc biệt trong các điều kiện đường phức tạp hoặc khi tốc độ xe thay đổi. Trong tương lai, mô hình mô phỏng có thể được mở rộng để bao gồm các kịch bản giao thông thực tế hơn, tích hợp nhiều loại cảm biến và đánh giá tác động của môi trường đối với hiệu suất hệ thống. Ngoài ra, việc so sánh kết quả mô phỏng với dữ liệu thực nghiệm từ thử nghiệm trên xe thật sẽ là một bước quan trọng để xác thực tính chính xác của mô hình và nâng cao độ tin cậy của hệ thống AEB trong điều kiện vận hành thực tế. ❖

Ngày nhận bài: **15/01/2025**

Ngày phản biện: **11/02/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Alsuwian T., Saeed R., Amin A.A., “*Autonomous Vehicle with Emergency Braking Algorithm Based on Multi-Sensor Fusion and Super Twisting Speed Controller*”. Applied Sciences. 12. 8458. 10.3390/app12178458. (2022).
- [2]. Road Traffic Injuries. Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (accessed on 16 July 2022).
- [3]. Khayyat M., Arrigoni S., Cheli F., “*Development and Simulation-based Testing of a 5G-Connected Intersection AEB System*”. arXiv preprint arXiv:2102.01590 (2021).
- [4]. Kovaceva J., Bálint A., Schindler R., Schneider A., “*Safety benefit assessment of autonomous emergency braking and steering systems for the protection of cyclists and pedestrians based on a combination of computer simulation and real-world test results*”. arXiv preprint arXiv:1911.02878 (2019).
- [5]. Lưu Văn Tuấn, “*Lý thuyết ô tô*”. NXB. Giáo dục Việt Nam (2019).
- [6]. Nguyễn Trọng Hoan, “*Thiết kế tính toán ô tô*”. NXB. Giáo dục Việt Nam (2018).
- [7]. Lin M., Yoon J., Kim B., “*A study and analysis for calculating the brake-application time of AEB systems considering the gradient*”. International Journal of Control and Automation, 8(6), 283-292 (2015).