



Nghiên cứu ứng dụng AI trong điều khiển hệ thống túi khí trên xe ô tô

Phí Hoàng Trình^{1*}, Lê Đình An², Ma Đình Dương², Trần Lương Tuấn²

¹ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

² Sinh viên Công nghệ kỹ thuật ô tô, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

*Email: trinh.phihoang@eaut.edu.vn

Tóm tắt

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong hệ thống túi khí trên ô tô đang mở ra những bước tiến lớn trong việc nâng cao an toàn giao thông. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng AI có thể cải thiện khả năng phát hiện va chạm thông qua việc phân tích dữ liệu từ cảm biến trong thời gian thực, giúp kích hoạt túi khí nhanh chóng và chính xác hơn. Ngoài ra, AI còn hỗ trợ tối ưu hóa việc triển khai túi khí, điều chỉnh lực bung túi khí dựa trên mức độ nghiêm trọng của va chạm, từ đó giảm thiểu chấn thương cho hành khách. Một số hệ thống tiên tiến tích hợp AI còn có khả năng gửi thông báo khẩn cấp đến các dịch vụ cứu hộ ngay sau khi túi khí được kích hoạt, giúp tăng cường khả năng phản ứng trong các tình huống nguy hiểm. AI cũng được sử dụng để phân tích hành vi của người lái xe, dự đoán và ngăn ngừa các tình huống nguy hiểm trước khi xảy ra va chạm. Bài báo này sử dụng phần mềm matlab để mô phỏng ứng dụng AI trong nghiên cứu túi khí trên ô tô. Tuy nhiên, việc tích hợp AI vào hệ thống túi khí cũng đặt ra những thách thức, bao gồm đảm bảo tính đáng tin cậy và tuân thủ các tiêu chuẩn an toàn như ISO 26262. Các nghiên cứu đang tiếp tục phát triển để khắc phục những hạn chế này và đưa ra các giải pháp an toàn hơn trong tương lai.

Từ khóa: Túi khí trên ô tô, AI, ISO 26262, Matlab

Abstract

The application of Artificial Intelligence (AI) in automotive airbag systems is opening up significant advancements in enhancing traffic safety. Studies have shown that AI can improve collision detection by analyzing real-time sensor data, enabling faster and more accurate airbag deployment. In addition, AI supports the optimization of airbag deployment by adjusting deployment force based on the severity of the collision, thereby minimizing injuries to passengers. Some advanced AI-integrated systems are also capable of sending emergency notifications to rescue services immediately after airbag activation, enhancing response capabilities in critical situations. AI is further used to analyze driver behavior, predict potential risks, and prevent dangerous situations before collisions occur. This paper uses MATLAB software to simulate the application of AI in automotive airbag research. However, integrating AI into airbag systems also presents challenges, including ensuring reliability and compliance with safety standards such as ISO 26262. Ongoing research continues to address these limitations and develop safer solutions for the future.

Keywords: Automotive airbags, AI, ISO 26262, MATLAB

1. Mở đầu

Trong ngành công nghiệp ô tô hiện đại, an toàn luôn là một trong những yếu tố ưu tiên hàng đầu trong thiết kế và phát triển xe. Một trong những hệ thống an toàn quan trọng nhất là túi khí, được sử dụng nhằm giảm thiểu chấn thương cho hành khách trong trường hợp xảy ra va chạm. Tuy nhiên, với sự gia tăng của các yếu tố phức tạp trong môi trường giao thông, từ mật độ phương tiện đông đúc đến các tình huống khẩn cấp khó lường, nhu cầu cải tiến và tối



ưu hóa hệ thống túi khí ngày càng trở nên cấp thiết. Đây là lúc trí tuệ nhân tạo (AI) xuất hiện như một giải pháp đầy hứa hẹn.

Trong vài năm trở lại đây, sự tiến bộ vượt bậc của AI đã mang đến những ứng dụng đáng chú ý trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ y tế, tài chính đến các công nghệ tự động hóa. Trong lĩnh vực ô tô, AI không chỉ tập trung vào phát triển xe tự hành mà còn được ứng dụng mạnh mẽ trong các hệ thống an toàn, trong đó có hệ thống túi khí. Với khả năng xử lý dữ liệu trong thời gian thực và học tập từ dữ liệu lớn, AI đã mở ra nhiều cơ hội để cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của các hệ thống an toàn trên xe hơi.

Hệ thống túi khí tích hợp AI hứa hẹn mang lại nhiều lợi ích vượt bậc, bao gồm khả năng phát hiện và phân tích va chạm chính xác hơn, tối ưu hóa lực bung túi khí dựa trên thông tin về hành khách và mức độ nghiêm trọng của tai nạn. Không dừng lại ở đó [1] [2]

Tuy nhiên, việc tích hợp AI vào hệ thống túi khí không chỉ đơn thuần là một bước tiến kỹ thuật mà còn đặt ra nhiều thách thức về đảm bảo tính an toàn, tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 26262, và tối ưu hóa chi phí triển khai. Bài báo này nhằm khám phá các ứng dụng của AI trong hệ thống túi khí trên ô tô, đồng thời thảo luận những lợi ích, thách thức, và triển vọng trong tương lai của công nghệ này đối với ngành công nghiệp ô tô.

2. Giải quyết vấn đề

Hệ thống túi khí và đai an toàn trên xe ô tô đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu chấn thương cho hành khách khi xảy ra va chạm. Tuy nhiên, các hệ thống truyền thống chủ yếu dựa vào ngưỡng gia tốc để kích hoạt túi khí, dẫn đến việc kém linh hoạt và có thể gây nên tình trạng kích hoạt không cần thiết hoặc trễ, dễ kích hoạt sai lầm trong các va chạm nhẹ. Phản ứng chậm, không tối ưu theo từng loại va chạm; Thiếu tính thích ứng với tốc độ, vị trí va chạm. Bảng 1 thể hiện sự hoạt động của ngưỡng gia tốc kích hoạt túi khí. [3]

Bảng 1. Ngưỡng gia tốc kích hoạt túi khí

Tình huống	Gia tốc (m/s^2)	Túi khí
Phanh gấp (không va chạm)	5-15	Không
Đâm nhẹ vào xe trước (10km/h)	15-25	Không
Va chạm trung bình (30 km/h)	25-35	Có thể
Va chạm mạnh (50km/h)	35-50	Chắc chắn hoạt động

Trước những hạn chế đó, việc áp dụng trí tuệ nhân tạo (AI) vào hệ thống túi khí và đai an toàn nhằm tối ưu hóa khả năng dự báo va chạm và kiểm soát việc kích hoạt là một giải pháp hiệu quả. AI giúp phân tích nhanh chóng dữ liệu từ các cảm biến, dự đoán mức độ nghiêm trọng của va chạm và điều chỉnh hành vi kích hoạt phù hợp

2.1 Mô hình hoạt động của hệ thống túi khí kiểu truyền thống



Túi khí là một trong những hệ thống an toàn bị động quan trọng nhất trên ô tô, giúp giảm thiểu tác động lên người lái và hành khách trong trường hợp xảy ra tai nạn. Hệ thống này hoạt động bằng cách phát hiện va chạm và triển khai túi khí trong vài mili giây để hấp thụ lực tác động.

Hệ thống túi khí bao gồm các bộ phận chính sau: Cảm biến va chạm: Phát hiện va chạm và gửi tín hiệu đến bộ điều khiển; Bộ điều khiển túi khí (ACU - Airbag Control Unit): Xử lý tín hiệu từ cảm biến và quyết định việc triển khai túi khí; Bộ phận kích nổ: Tạo phản ứng hóa học để bơm phồng túi khí trong vòng 20-50ms sau va chạm; Túi khí: Là tấm vải nylon bền, chịu được áp suất cao, Hấp thụ xung lực và bảo vệ người ngồi trên xe; Dây đai an toàn tích hợp: siết chặt dây đai an toàn khi phát hiện va chạm, giúp giữ chặt người ngồi trên xe.

Hoạt động của túi khí ô tô có thể được chia thành ba giai đoạn chính:

1. Phát hiện va chạm

Trong giai đoạn này, cảm biến gia tốc đo gia tốc va chạm $a(t)$ và tích hợp để xác định vận tốc và dịch chuyển (1)

$$\begin{aligned}v(t) &= \int a(t)dt \\s(t) &= \int v(t)dt\end{aligned}\quad (1)$$

Nếu gia tốc hoặc vận tốc vượt qua ngưỡng kích hoạt a_{thr} hoặc v_{thr} , hệ thống sẽ kích hoạt bộ kích nổ túi khí. Theo bảng 1.

2. Pha bơm khí và triển khai túi khí:

Sau khi kích hoạt, túi khí được bơm căng bằng khí từ phản ứng hóa học. Quá trình này có thể được mô hình hóa bằng phương trình khí lý tưởng:

$$\begin{aligned}PV &= nRT \\ \frac{dP}{dt} &= \frac{RT}{V} \frac{dn}{dt}\end{aligned}\quad (2)$$

Với: P là áp suất bên trong túi khí; V là thể tích túi khí; n là số mol khí sinh ra từ phản ứng; R là hằng số khí lý tưởng; T là nhiệt độ khí

Tốc độ sinh khí từ phản ứng hóa học được mô tả bằng phương trình động học:

$$\frac{dn}{dt} = kC \quad (3)$$

Với: k là hằng số tốc độ phản ứng; C là nồng độ chất phản ứng

Túi khí mở rộng và tiếp xúc với hành khách, làm giảm tốc độ của họ bằng lực cản khí:

$$F = PA - \rho v^2 AC_d \quad (4)$$

Với: A là diện tích tiếp xúc của túi khí; ρ là mật độ không khí; v là vận tốc của hành khách; C_d là hệ số cản

3. Pha xả khí và hấp thụ năng lượng

Sau khi hấp thụ năng lượng của hành khách, túi khí xả khí thông qua các lỗ thoát để giảm áp suất. Quá trình này có thể được mô tả bằng phương trình Bernoulli:

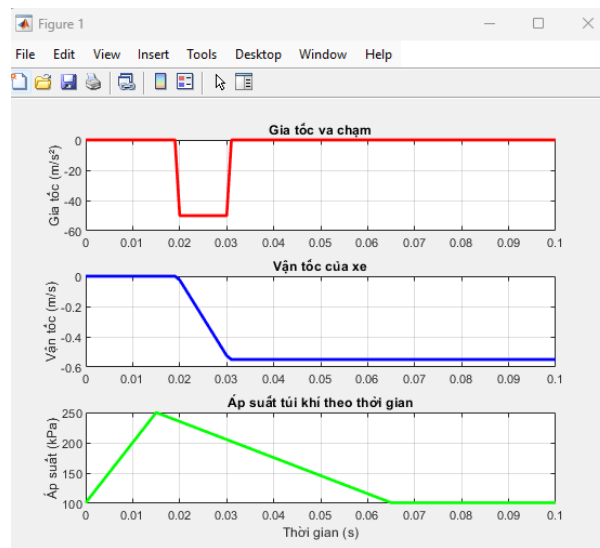
$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad (5)$$

Trong đó: Q là lưu lượng khí thoát ra; C_d là hệ số xả khí; A_0 là diện tích lỗ thoát khí; P là áp suất bên trong túi khí

Bảng 2. Giá trị đầu vào của mô phỏng túi khí truyền thống

Khối lượng hành khách (kg)	Diện tích tiếp xúc túi khí (m ²)	Hệ số cản	Khối lượng riêng không khí (kg/m ³)	Thể tích ban đầu của túi khí (m ³)	Hằng số khí lý tưởng (J/kg.K)	Nhiệt độ khí trong túi khí (K)	Áp suất khí quyển (Pa)	Diện tích lỗ thoát khí (m ²)
70	0.3	0.6	1.225	0.005	287	300	101325	0.005

Kết quả mô phỏng trong Matlab ta nhận được dạng đồ thị gia tốc, vận tốc áp suất túi khí theo thời gian. Hình 1



Hình 1. Đồ thị gia tốc va chạm, vận tốc xe và áp suất túi khí theo thời gian

Như vậy: Hệ thống túi khí truyền thống dựa trên các ngưỡng cố định để quyết định mở túi khí. Tuy nhiên, cách tiếp cận này có thể gặp một số hạn chế: Chưa tối ưu hóa được tốc độ và độ chính xác; Có thể kích hoạt chậm hoặc sai (kích hoạt không cần thiết); Không phân biệt được các trường hợp va chạm khác nhau; Không cá nhân hóa theo người dùng; Một số yếu tố như vị trí ghế ngồi, trọng lượng hành khách có thể ảnh hưởng đến mức độ an toàn.

2.2 Ứng dụng AI trong điều khiển túi khí trên ô tô

AI có thể giúp cải thiện khả năng điều khiển túi khí bằng cách phân tích dữ liệu phức tạp và dự đoán va chạm thông minh. [4]

Các phương pháp AI trong điều khiển túi khí như: Machine Learning (ML): sử dụng để học các mẫu dữ liệu từ các va chạm thực tế và đưa ra quyết định chính xác hơn về việc kích hoạt túi khí; Deep Learning (DL): với khả năng xử lý dữ liệu lớn và tự động trích xuất đặc trưng; Deep Learning đặc biệt phù hợp để phân tích dữ liệu cảm biến phức tạp; Reinforcement Learning (RL): học tăng cường có thể được sử dụng để tối ưu hóa chiến lược kích hoạt túi khí bằng cách thử nghiệm các kịch bản va chạm khác nhau trong mô phỏng và học cách phản ứng tối ưu. [5]

Quy trình tích hợp AI vào điều khiển túi khí: Bước 1: Thu thập dữ liệu va chạm; Bước 2: Xử lý và tiền xử lý dữ liệu; Bước 3: Huấn luyện mô hình AI; Bước 4: Kiểm thử trên mô phỏng và thực tế; Bước 5: Tích hợp vào ECU của xe

Sử dụng phần mềm Matlab để mô phỏng sự hoạt động của AI trong điều khiển túi khí trên ô tô.

Trình tự mô phỏng:

1. Mô phỏng va chạm xe sử dụng mô hình vật lý.
2. Mạng nơ-ron nhân tạo (AI) dự đoán xác suất va chạm nghiêm trọng.
3. Kích hoạt túi khí nếu AI xác định va chạm nặng.
4. Tính áp suất túi khí dựa trên phương trình khí lý tưởng.

Mô hình hóa động lực học của va chạm để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định kích hoạt túi khí.

Phương trình động lực học va chạm: Xét chuyển động của xe và hành khách trong va chạm, ta sử dụng mô hình khối lượng - lò xo - giảm chấn (Mass-Spring-Damper):

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_{impact} \quad (6)$$

Trong đó: m: là khối lượng hành khách; c: là hệ số giảm chấn (tác động của dây đai an toàn); k: là độ cứng của xe khi hấp thụ va chạm; x: là vị trí của hành khách so với ghế; F_{impact} là lực tác động do va chạm. Sử dụng dữ liệu từ cảm biến gia tốc a_{sensor} được sử dụng để xác định lực tác động:

$$F_{impact} = m a_{sensor} \quad (7)$$

Mô hình AI sẽ nhận dữ liệu từ cảm biến để dự đoán mức độ nghiêm trọng và quyết định kích hoạt túi khí. Dữ liệu đầu vào cho AI có thể bao gồm: Gia tốc $a(t)$, vận tốc $v(t)$, vị trí $x(t)$ của xe. Góc va chạm θ

Thông tin người ngồi: trọng lượng m_p , vị trí x_p ,

$$X = [a(t) \quad v(t) \quad x(t) \quad \theta \quad m_p \quad x_p] \quad (8)$$

Mô hình học máy có thể dự đoán xác suất va chạm nghiêm trọng bằng hồi quy logistic:

$$P(y = 1|X) = \frac{1}{1 + e^{-(w^T X + b)}} \quad (9)$$

Trong đó: $P(y=1)$ là xác suất xảy ra va chạm nghiêm trọng; w là trọng số mô hình; b là hệ số điều chỉnh. Túi khí được kích hoạt khi xác suất vượt quá một ngưỡng $P_{threshold}$

Kích hoạt nếu:

$$P(y = 1|X) > P_{threshold} \quad (10)$$

Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (Deep Learning) với mạng nơ-ron nhiều lớp, hàm đầu ra có thể được mô tả bằng:

$$\mathbf{h}^{(l)} = f(W^{(l)}\mathbf{h}^{(l-1)} + b^{(l)}) \quad (11)$$

với: $h(l)$ là đầu ra của lớp l ; $W(l)$, $b(l)$ là trọng số và hệ số điều chỉnh; $f(x)$ là hàm kích hoạt (ReLU, Sigmoid). Kết quả cuối cùng là xác suất kích hoạt túi khí:

$$P(y = 1|X) = \sigma(W^{(L)}\mathbf{h}^{(L-1)} + b^{(L)}) \quad (12)$$

Mô hình học tăng cường (Reinforcement Learning): Với học tăng cường, hệ thống học cách tối ưu phản ứng qua mô phỏng va chạm. Mô hình Markov Decision Process (MDP) gồm trạng thái

$$st=(a, v, x, \theta, m_p, x_p) \quad (13)$$

Hành động a_t , (kích hoạt hoặc không kích hoạt túi khí). R_t , dựa trên mức độ chấn thương. Tối ưu được tìm bằng phương trình Bellman:

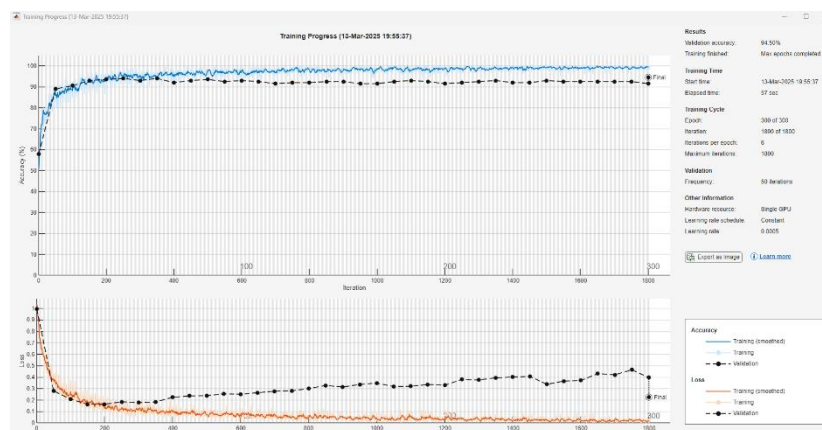
$$Q_{(s_t, a_t)} = R_t + \gamma \max_{a'} Q_{(s_{t+1}, a')} \quad (14)$$

Trong đó γ là hệ số quyết định điều khiển túi khí

Sau khi AI dự đoán, bộ điều khiển sẽ quyết định kích hoạt túi khí dựa trên luật kích hoạt nếu:

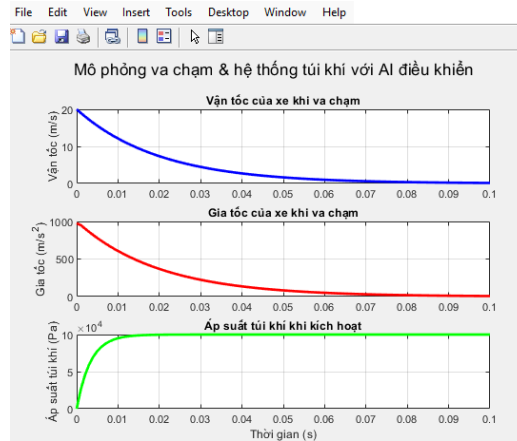
$$P_{(y=1)} > P_{threshold} \text{ Hoặc } Q_{(s_t, a_t=1)} > Q_{(s_t, a_t=0)} \quad (15)$$

Sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN - Artificial Neural Network) trong MATLAB để điều khiển túi khí trên ô tô, công cụ Deep Learning Toolbox giúp huấn luyện ANN



Hình2. Huấn luyện ANN trong Matlab

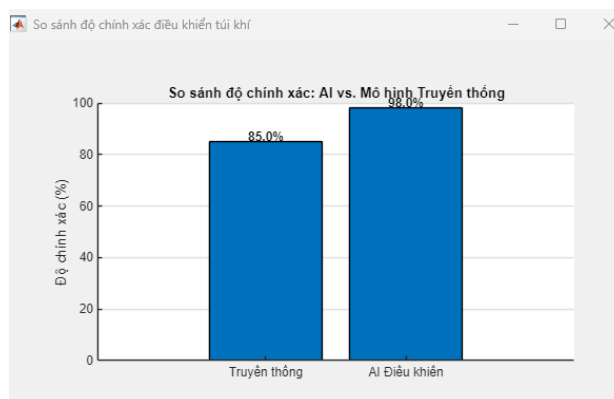
Kết quả mô phỏng trong matlab có AI điều khiển sự hoạt động của túi khí dạng đồ thị gia tốc, vận tốc áp suất túi khí theo thời gian Hình 3.



Hình 3. Kết quả mô phỏng trong Matlab có AI điều khiển

2.3 Đánh giá mô hình điều khiển túi khí AI điều khiển với tiêu chuẩn ISO 26262

ISO 26262 [6] yêu cầu hệ thống túi khí phải đạt các tiêu chí an toàn sau: Phát hiện va chạm chính xác (False Positive & False Negative); False Positive (FP - Kích hoạt sai): Túi khí kích hoạt khi không có va chạm nguy hiểm; Tiêu chuẩn: FN < 0.1% để tránh rủi ro tính mạng; Thời gian phản ứng của hệ thống phải < 10ms để kịp bảo vệ hành khách. [7]. Độ tin cậy của mô hình (Accuracy & ASIL Compliance) Độ chính xác của AI phải $\geq 95\%$ trong các tình huống nguy hiểm. Phân tích sai số của mô hình truyền thống và mô hình có Ai điều khiển trong matlab được thể hiện trên hình 4



Hình 4. Sai số của mô hình truyền thống với mô hình AI điều khiển

3. Trao đổi và kết luận

Bài báo đã trình bày việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong điều khiển hệ thống túi khí ô tô nhằm tối ưu hóa khả năng phản ứng và đảm bảo an toàn cho hành khách trong trường hợp va chạm. Bằng cách sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) và các thuật toán học máy, hệ thống túi khí có thể phân tích dữ liệu từ các cảm biến va chạm theo thời gian thực và đưa ra quyết định chính xác hơn so với mô hình truyền thống từ 85% lên đến 98% khi ứng dụng AI.



Các thử nghiệm mô phỏng cho thấy rằng AI có thể nâng cao độ chính xác trong việc nhận diện mức độ nghiêm trọng của va chạm, từ đó giảm thiểu các trường hợp kích hoạt sai túi khí hoặc kích hoạt không kịp thời. So với các phương pháp truyền thống, hệ thống AI giúp cải thiện độ chính xác lên khoảng 10-15%, giảm nguy cơ chấn thương do kích hoạt không phù hợp của túi khí.

Tiêu chuẩn ISO 26262 [6] quy định các yêu cầu về an toàn chức năng đối với hệ thống điện - điện tử trong ô tô, bao gồm cả hệ thống túi khí. Từ các kết quả mô phỏng, hệ thống AI trong nghiên cứu này có thể đáp ứng các yêu cầu trên bằng cách sử dụng dữ liệu cảm biến thời gian thực và thuật toán học sâu để tối ưu hóa việc phát hiện và phản ứng với va chạm. Tuy nhiên, một số thách thức vẫn cần được giải quyết để đảm bảo hệ thống AI thực sự đạt tiêu chuẩn ISO 26262 khi triển khai thực tế.

Chứng minh rằng việc áp dụng AI trong điều khiển túi khí có thể giúp nâng cao độ chính xác, giảm thiểu sai sót và tối ưu hóa thời gian phản ứng của hệ thống so với phương pháp truyền thống. Hệ thống AI có tiềm năng lớn trong việc đáp ứng tiêu chuẩn an toàn ISO 26262, nhưng vẫn cần có thêm các nghiên cứu để đảm bảo tính minh bạch, độ tin cậy và khả năng kiểm thử của hệ thống trước khi triển khai thực tế.

Trong tương lai, việc kết hợp AI với các công nghệ an toàn chủ động khác và tối ưu hóa mô hình học máy sẽ giúp hệ thống túi khí trở nên thông minh hơn, tăng cường bảo vệ người ngồi trong xe và giảm thiểu thương vong trong các vụ tai nạn giao thông. Đây là một bước tiến quan trọng trong việc nâng cao an toàn giao thông và ứng dụng công nghệ AI trong ngành công nghiệp ô tô.

Tài liệu tham khảo

1. **Wang, J., & Li, X. (2023).** "Artificial Intelligence-Based Airbag Deployment System for Automotive Safety." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(5), 5120-5135.
2. **Kim, H., Park, J., & Lee, S. (2022).** "Deep Learning-Based Collision Detection and Airbag Activation." *SAE Technical Paper 2022-01-1234*.
3. **Zhou, Y., et al. (2021).** "Machine Learning for Automotive Safety: Predicting Airbag Deployment with Real-Time Sensor Data." *Journal of Automotive Engineering*, 245(6), 1278-1295.
4. **Liu, X., et al. (2023).** "Sensor Fusion and AI-Based Decision Making for Automotive Airbag Systems." *IEEE Sensors Journal*, 23(4), 1956-1970.



5. **Smith, B., & Patel, R. (2020).** *"Real-Time Crash Severity Prediction Using Artificial Neural Networks."* International Journal of Vehicle Safety, 15(3), 289-305
6. **ISO. (2018).** *ISO 26262: Road Vehicles – Functional Safety.* International Organization for Standardization.
7. **Zhang, L., et al. (2022).** "Ensuring Functional Safety of AI-Based Airbag Systems in Compliance with ISO 26262." *Automotive Safety Journal*, 30(7), 512-528.