

THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ VẬN TỐC VA CHẠM TRONG TAI NẠN GIAO THÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH MA TRẬN

Lê Thu Huyền
Nguyễn Tuấn Thành
Bùi Ngọc Dũng

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT:

Việc điều tra, phân tích tai nạn giao thông có vai trò rất quan trọng trong việc nghiên cứu nguyên nhân gây ra tai nạn và đưa ra cảnh báo cũng như tăng cường hành vi an toàn giao thông. Tuy nhiên, trên thực tế, các vụ va chạm giao thông thường rất phức tạp và khó xác định nguyên nhân gây ra va chạm giữa các phương tiện. Vì vậy, việc mô hình hóa và phân tích các yếu tố xác định tốc độ va chạm có ý nghĩa trong việc phục hồi tai nạn giao thông phục vụ công tác điều tra, phân tích tai nạn giao thông. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp xác định vận tốc của xe trước và sau va chạm bằng mô hình ma trận. Mô hình được xây dựng trên cơ sở phân tích tổn thất động năng khi va chạm và sự biến dạng tại bề mặt va chạm. Kết quả thực nghiệm được so sánh với lược đồ từ phần mềm PC-Crash để đánh giá hiệu quả của phương pháp.

ABSTRACT:

The investigation and analysis of traffic accidents play a very important role in studying the causes of accidents and giving warnings as well as improving traffic safety behavior. However, in reality, traffic collisions are often very complicated and it is difficult to determine the cause of collisions between vehicles. Therefore, the modeling and analysis of factors to determine the collision speed are meaningful in the recovery of traffic accidents for the investigation and analysis of traffic accidents. In this paper, we present a method to determine the vehicle's velocities before and after the collision using a matrix model. The model is built on the basis of the kinetic energy loss in the collision and the deformation at the impact surface. The experimental results are compared to the schema from PC-Crash software to show the effectiveness of the method.

Từ khóa: tai nạn giao thông, mô hình ma trận, xác định vận tốc va chạm

1. GIỚI THIỆU

Tai nạn giao thông đường bộ là nguyên nhân thứ 8 gây tử vong ở mọi lứa tuổi và là nguyên nhân tử vong hàng đầu của trẻ em và thanh niên 5-29 tuổi. Theo kết quả nghiên cứu năm 2018 của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), số ca tử vong do va chạm trên đường là 1,35 triệu ca tử vong mỗi năm. Mặc dù con số này khá cao và gia tăng hàng năm, nhưng tỷ lệ tử vong do tai nạn giao thông trên 100.000 dân vẫn không đổi trong những năm qua, ở mức khoảng 18 người chết. Tuy nhiên, tỷ lệ tử vong này không được phân bổ theo tỷ lệ giữa các khu vực và quốc gia khác nhau. Các quốc gia có thu nhập cao đã ghi nhận tỷ lệ trung bình thấp nhất là 8,3 trên 100.000. Ngược lại với con số này, các quốc gia thu nhập thấp có tỷ lệ tử vong do giao thông đường bộ hàng năm cao nhất, trung bình là 27,5 ca tử vong trên 100.000 - hơn ba lần mức trung bình của các quốc gia thu nhập cao. Khu vực Tây Thái Bình Dương chiếm 25% tổng dân số thế giới, 25% tổng số phương tiện đăng ký và 24% số ca tử vong do giao thông đường bộ trên toàn cầu (gần 320.000 ca tử vong). Tỷ lệ tử vong do giao thông đường bộ tại khu vực cao thứ tư trong số các khu vực của WHO, với tỷ lệ là 16,9 trên 100.000 dân.

Ở Việt Nam, những năm vừa qua, lĩnh vực an toàn giao thông đã có nhiều cải thiện, nhờ các nỗ lực từ cơ quan quản lý cấp Trung ương tới địa phương, cũng như nhiều tổ chức có liên quan. Tuy nhiên, số lượng TNGT và thiệt hại do TNGT gây ra cho nền kinh tế vẫn còn ở mức cao.

Đặc điểm khác biệt của giao thông Việt nam là giao thông phụ thuộc xe máy. Nhu cầu đi lại của người dân tại các khu vực đô thị vẫn được giải quyết bởi 70-80% lượng xe máy. Có thể nói, tốc độ cơ giới hóa nhanh chóng trong giao thông vận tải, đặc biệt là sự bùng nổ sử dụng xe gắn máy và các phương tiện cơ giới cá nhân khác, trong điều kiện hạn chế về cơ sở hạ tầng và đặc biệt là sự hạn chế trong ý thức của người điều khiển phương tiện và trình độ quản lý giao thông là những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến các vấn đề về giao thông đô thị: ô nhiễm, ùn tắc, tai nạn giao thông.

Gần đây, cùng với sự phát triển kinh tế, số lượng phương tiện tăng nhanh đã làm mất cân bằng giữa 3 yếu tố gồm phương tiện, con người và hạ tầng giao thông. Sự kết hợp của ba yếu tố, hành vi của người dân, chất lượng kỹ thuật của phương tiện và cơ sở hạ tầng chưa đáp ứng được yêu cầu phát triển đã dẫn đến tai nạn giao thông ngày càng gia tăng.

Các giải pháp triển khai thiếu đồng bộ và thiếu tính hệ thống có thể không mang lại hiệu quả tối đa như mong đợi. Nhiều giải pháp cải thiện tình trạng mất an toàn giao thông được triển khai tốn kém nhiều chi phí nhưng không hiệu quả, phải loại bỏ, thậm chí có thể có tác dụng tiêu cực đến tâm lý.

Để hỗ trợ có hiệu quả các chính sách, giúp triển khai các giải pháp đảm bảo an toàn giao thông, việc phân tích/điều tra tai nạn giao thông là hết sức cần thiết, nó không chỉ giúp hiểu rõ những vấn đề chủ yếu xảy ra trong một tai nạn giao thông mà còn cung cấp những thông tin toàn diện giúp cho việc lựa chọn hoặc đưa ra những biện pháp đảm bảo an toàn. Việc xác định đặc điểm của hành vi tham gia giao thông trước và/hoặc trong các tình huống xung đột và tai nạn giao thông có thể cung cấp những thông tin hữu ích về đặc điểm của người tham gia giao thông, phương tiện và môi trường giao thông.

Trên thực tế, va chạm giữa các phương tiện được chia thành hai loại va chạm lệch tâm và va chạm giữa. Do phản xạ tự vệ của người lái xe trước khi xảy ra va chạm nên hầu hết các vụ va chạm trên thực tế đều là va chạm lệch tâm. Tuy nhiên, đây là dạng va chạm phức tạp, khó dự đoán nguyên nhân va chạm, đặc biệt là vận tốc của các xe trước va chạm. Vì vậy, việc mô hình hóa và phân tích xác định vận tốc va chạm có ý nghĩa trong việc khắc phục tai nạn giao thông nhằm tìm hiểu nguyên nhân vụ tai nạn.

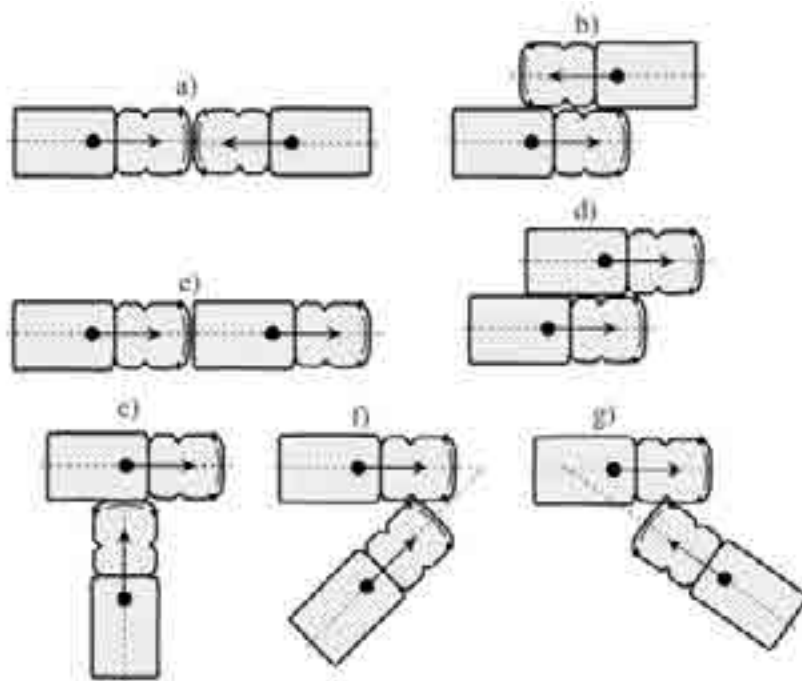
Có nhiều loại nghiên cứu về mô hình va chạm hoặc va chạm để xác định vận tốc của các phương tiện (Matthew và cộng sự 2022, Neades, 2013, Neades và Smith, 2011). Công thức phân tích mô hình va chạm bằng Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) với độ cứng thực đã được sử dụng để mô hình hóa mô phỏng giai đoạn va chạm hiệu quả về mặt thời gian (Dario et al. 2018). Các mô hình hồi quy như RARMAX, ARMAX và AR được sử dụng để mô phỏng va chạm giữa ô tô với cột và những mô hình này có thể được sử dụng để ước tính các thông số hệ thống vật lý cũng như tái tạo động học ô tô bao gồm gia tốc, vận tốc và lực nghiền (Witold et al., 2011). Hoạt động của ô tô trong quá trình va chạm có thể được mô hình hóa bằng Lò xo khối (LMS) dựa trên một số khối lượng và lò xo rời rạc của vật liệu có tính chất cơ học được xác định bằng các thử nghiệm động học (Deac và cộng sự, 2018). Phương pháp thiết lập các thông số của mô hình va chạm xe được mô tả và tùy chỉnh mô hình Kevil để đánh giá mức độ nghiêm trọng của một vụ tai nạn (Witold et al., 2010). Phương pháp đo lực hấp thụ sau va chạm và tác động của độ cứng của xe được thực hiện trên 93 tình huống và đã kiểm chứng tính chính xác của phương pháp (Wang và Gabler, 2007).

Trong khi nhiều phương pháp tập trung vào việc trích xuất năng lượng và động lượng từ một điểm trong khu vực va chạm của hai ô tô, phương pháp này thiếu độ chính xác do thiếu giá trị từ một điểm khác. Bài báo trình bày phương pháp ước tính vận tốc của ô tô trước va chạm bằng mô hình ma trận (James, 2016). Thay vì sử dụng một điểm trong khu vực va chạm, mô hình ma trận kết hợp động năng và động lượng của từng điểm để ước tính vận tốc của ô tô. Từ sự biến thiên của động năng và động lượng trước khi va chạm với giá trị của chúng trong và sau va chạm, người ta ước

tính được vận tốc góc và vận tốc của ô tô. Ưu điểm của phương pháp này là kết hợp thông tin từ mọi điểm trong vùng va chạm, do đó đạt được độ chính xác cao hơn.

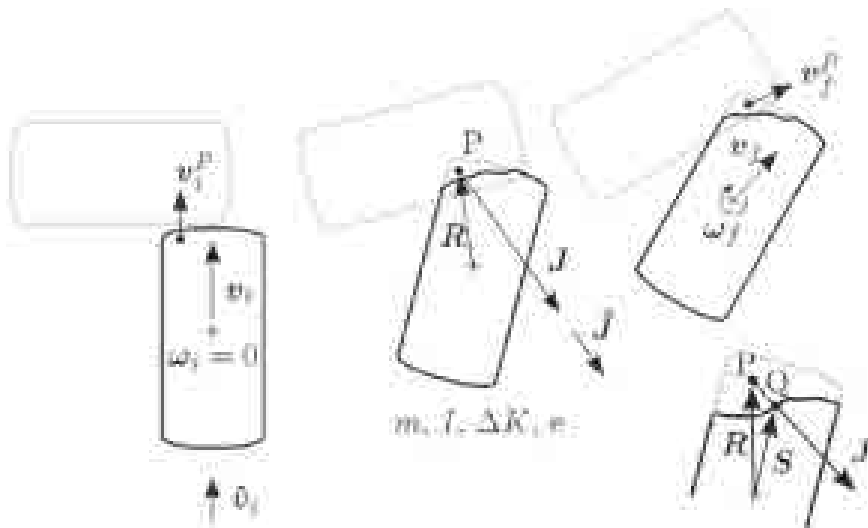
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Có nhiều loại va chạm, như được mô tả trong Hình 1. Quá trình va chạm bao gồm hai giai đoạn: giai đoạn biến dạng và giai đoạn phục hồi. Khoảng thời gian biến dạng từ khi bắt đầu va chạm cho đến khi vật va chạm không còn biến dạng. Trong giai đoạn phục hồi từ khi kết thúc biến dạng, các vật khôi phục lại hình dạng ban đầu cho đến khi kết thúc va chạm.



Hình 1. Minh họa các loại va chạm ô tô. (a), (b) va chạm ngược chiều, (c), (d) va chạm cùng chiều, (e) va chạm vuông góc, (f), (g) va chạm xiên

Để xác định chính xác loại va chạm của một vụ tai nạn cụ thể, người ta có thể dựa vào vị trí cuối cùng của vụ va chạm và các dấu hiệu trên xe cũng như trên đường. Về mặt vật lý, kiểu va chạm có thể được chia thành va chạm hướng tâm (khi pháp tuyến chung đi qua trọng tâm của hai ô tô) hoặc va chạm lệch tâm (khi pháp tuyến chung không đi qua trọng tâm của hai ô tô). Thông thường, các vụ va chạm trên giao lộ và va chạm trực diện là va chạm lệch tâm, còn va chạm từ phía sau là va chạm hướng tâm. Theo thống kê, hầu hết các vụ va chạm đều là va chạm lệch tâm nên trong bài báo này sẽ ưu tiên xem xét va chạm lệch tâm. Một vụ va chạm lệch tâm hoặc va chạm cao là một dạng phức tạp của tai nạn ô tô. Khi hai ô tô va chạm, không chỉ xảy ra chuyển động tịnh tiến mà còn xảy ra chuyển động quay, như mô tả trên hình 2.



Hình 2. Diễn biến vụ va chạm ô tô (James, 2016)

Trên thực tế, va chạm lệch tâm là một loại va chạm phổ biến trong đó va chạm giữa hai xe rất phức tạp do chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay của ô tô diễn ra cùng một lúc. Để xây dựng mô hình va chạm, mối quan hệ giữa các ô tô được xem xét. Đầu tiên, sự thay đổi động năng giữa thời điểm ban đầu và thời điểm cuối cùng của vụ va chạm được mô tả theo phương trình:

$$\Delta E = \left(\frac{1}{2} m v_f^T v_f + \frac{1}{2} I \omega_f^T \omega_f \right) - \left(\frac{1}{2} m v_i^T v_i + \frac{1}{2} I \omega_i^T \omega_i \right)$$

Trong đó: m là khối lượng của ô tô, v_f là vận tốc sau va chạm, ω_f là vận tốc góc sau va chạm, v_i là vận tốc trước khi va chạm, ω_i là vận tốc góc trước khi va chạm và

$$v_i = v_f - \Delta v, \quad \omega_i = \omega_f - \Delta \omega$$

Sau đó, sự thay đổi động lượng được tạo ra trong vụ va chạm:

$$s = \int_{t_i}^{t_f} F dt = m \Delta v$$

Mối quan hệ giữa vận tốc và biến dạng tại điểm va chạm với sự biến thiên năng lượng đã cho là ∇E :

$$\Delta E = v_{fp} \cdot s - a s \cdot s$$

$$\Delta E = v_{ip} \cdot s + a s \cdot s$$

Khi đó vận tốc ô tô trước và sau va chạm có thể ước tính bằng phương trình:

$$v_{ip} = (\Delta E - a s \cdot s) / s$$

$$v_{fp} = (\Delta E + a s \cdot s) / s$$

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Thiết lập thí nghiệm

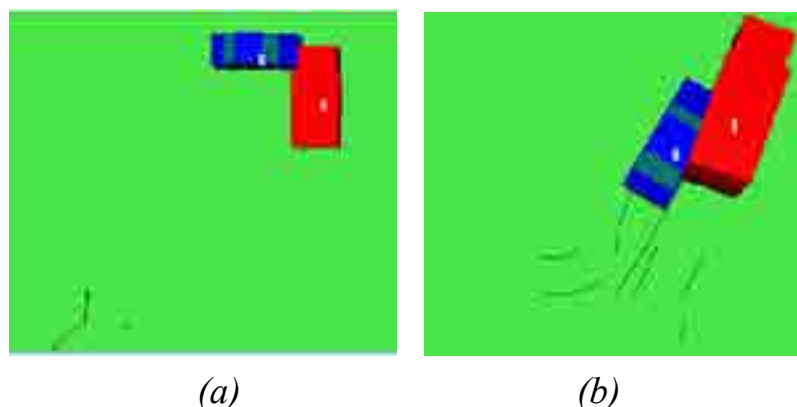
Nghiên cứu thực hiện mô phỏng một vụ va chạm giữa hai ô tô. Hai ô tô va chạm vuông góc với nhau. Các thông số của thí nghiệm được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số trong va chạm lệch tâm vuông góc

Tham số	Xe 1	Xe 2	Đơn vị
I	1331	2740	Kg
I (momen quán tính)	1423	5890	kgm ²
R (vị trí xung)	$\begin{bmatrix} -1.38 \cos 6^0 \\ -1.38 \sin 6^0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1.82 \sin 29.7^0 \\ -1.82 \cos 29.7^0 \\ 0 \end{bmatrix}$	I
\vec{S} (vector đơn vị xung)	$\begin{bmatrix} \cos 30^0 \\ \sin 30^0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\cos 30^0 \\ -\sin 30^0 \\ 0 \end{bmatrix}$	Kg m/s
E (mất tổng động năng)	18.3	9,5	kJ
k_p (hệ số hoàn nguyên)	0,3	0,3	

Cấu hình của ô tô tuân theo thí nghiệm trước đó (James, 2016). Vị trí xung R và hướng S được để lại dưới dạng biểu thức lượng giác để có thể dễ dàng hình dung và liên kết các vector với các nguồn tham chiếu. Các giá trị tiêu tán năng lượng xuất hiện riêng biệt cho mỗi ô tô mặc dù chỉ sử dụng tổng tổn thất động năng trong tính toán.

Ngoài ra, mô phỏng cấu hình va chạm của hai ô tô được thể hiện trên hình 3. Ô tô Nexia 55KW đời 1997 di chuyển với vận tốc 30 km/h (16,5 m/s) và gia tốc phanh là 5 m/s². AviaA21 N/4 di chuyển với tốc độ 30 km/h (16,5 m/s) và gia tốc phanh là 5m/s².



Hình 3. Mô phỏng va chạm ô tô. (a) Điểm va chạm và (b) chuyển động của ô tô sau va chạm

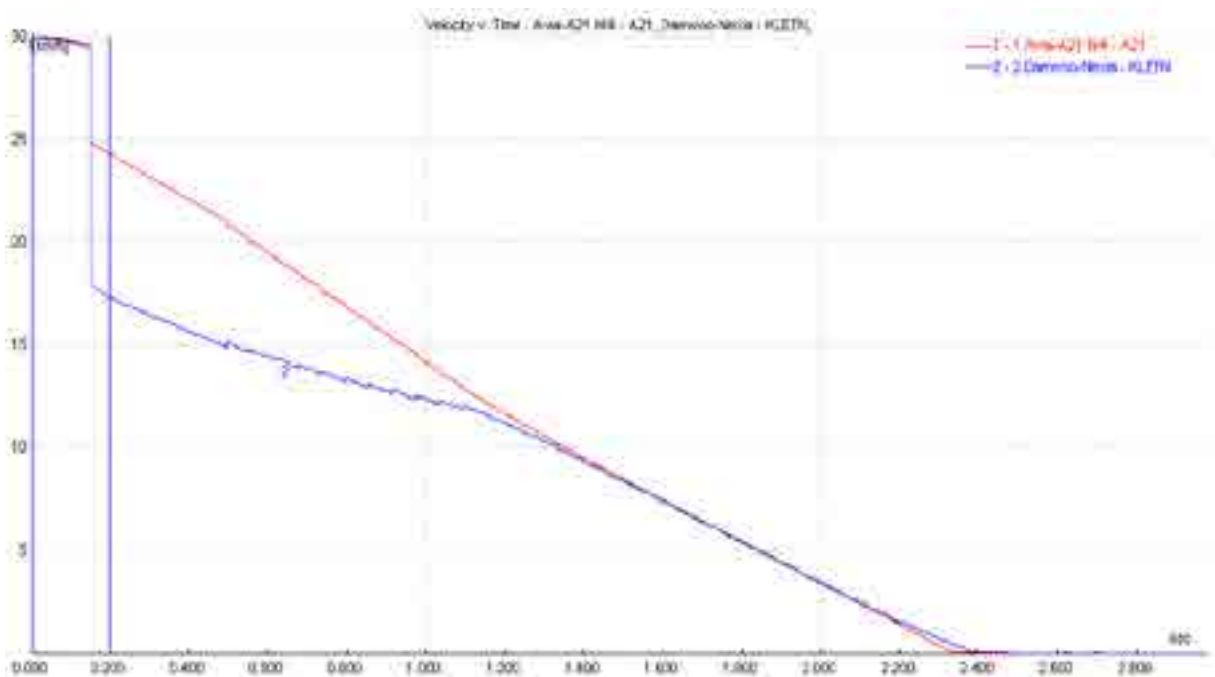
3.2. Kết quả thí nghiệm

Kết quả ở bảng 2 cho thấy sự thay đổi vận tốc của xe trước và sau va chạm theo các hướng trong mặt phẳng 2D (mô hình va chạm lệch tâm). Xe thứ nhất (đâm trực diện), vận tốc giảm đột ngột từ -7,57 xuống -1,57 theo phương ngang, tuy nhiên vận tốc theo phương ngược lại tăng nhanh từ 0 lên 3,81m/s. Tương tự đối với xe2 (xe bị va chạm), vận tốc dọc giảm đi tuy nhiên mức giảm không quá nhiều so với xe 1 và còn xảy ra vận tốc nằm ngang cùng hướng với xe 1.

Bảng 2. Vận tốc của hai ô tô trước và sau va chạm ước tính bằng mô hình ma trận

Car1				Car2		
Δv_1	$\Delta v_{1i} - \Delta v_{2i}$	v_{1i}	v_{1f}	Δv_2	v_{2i}	v_{2f}
$\begin{bmatrix} 6.6 \\ 3.81 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9.64 \\ 5.56 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3.04 \\ 5.4 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1.57 \\ 3.81 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3.04 \\ -1.75 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 7.15 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -3.04 \\ 5.4 \\ 0 \end{bmatrix}$

Trong mô phỏng PC-Crash, vận tốc của hai ô tô cũng giảm nhanh như hình 4. Chi tiết vận tốc biến thiên trước và sau va chạm được thể hiện ở bảng 3. Các thông số trong mô phỏng này tương tự như các thông số đầu vào trong ma trận phương pháp. Như trong bảng 3, kết quả mô phỏng cho thấy sự tương đồng về sự biến thiên vận tốc của hai ô tô. Khi va chạm xảy ra, vận tốc của ô tô1 giảm nhanh và xuất hiện tốc độ chuyển động ngang. Vận tốc của ô tô 2 vẫn giữ nguyên hướng trước khi va chạm và giảm dần.



Hình 4. Vận tốc của hai ô tô sau va chạm

Bảng 3. Vận tốc của hai ô tô trước và sau va chạm ước tính bằng phần mềm PC-crash

xe1				C ar2		
Δv_1	$\Delta v_{1i} - \Delta v_{2i}$	v_{1i}	v_{1f}	Δv_2	v_{2i}	v_{2f}
$\begin{bmatrix} 6.38 \\ 2.7 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8.76 \\ 3.95 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -7.57 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1.8 \\ 2.7 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -2.38 \\ -1.25 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 7.15 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -2.38 \\ 5.9 \\ 0 \end{bmatrix}$

Kết quả cho thấy vận tốc va chạm lệch tâm trước và sau của hai ô tô sử dụng phương pháp ma trận và PC-Crash khá giống nhau. Điều này cho thấy tính khả thi khi áp dụng phương pháp ma trận để tính vận tốc trước và sau va chạm.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống giao thông vận tải là một hệ thống phức tạp, đòi hỏi có sự vận hành trơn tru và phối hợp hoàn hảo giữa các thành phần trong hệ thống. Tai nạn giao thông xảy ra có thể nói là kết quả của một lỗi hoặc một sai phạm của hệ thống. Tuy các con số thống kê chỉ ra rằng, nguyên nhân dẫn đến tai nạn giao thông (ở Việt Nam) đa phần là do lỗi của người tham gia giao thông (như đã nói ở trên), có thể thấy rằng nếu chỉ riêng nguyên nhân đó không thể dẫn đến xung đột, chứ chưa nói đến tai nạn giao thông. Có thể lấy ví dụ đơn giản như một người lái xe phóng nhanh, với vận tốc vượt quá vận tốc cho phép theo luật. Nếu đường anh ta đang đi là đường thẳng, không có giao cắt, không có các khúc quanh mất an toàn, không có các chướng ngại vật (ví dụ như, người đi bộ ngang qua đường), kỹ năng lái xe tốt, lái xe tập trung, v.v... thì xác suất xảy ra tai nạn là rất thấp. Ngược lại, một người lái xe trong giới hạn tốc độ cho phép nhưng lái xe mất tập trung, khả năng xử lý tình huống kém, gặp tình huống bất thường xảy ra như gặp khúc quanh đột ngột, người qua đường sai luật, v.v... thì tai nạn vẫn có thể xảy ra với xác suất cao.

Cho đến nay, các phân tích nguyên nhân dẫn đến tai nạn giao thông đa phần chỉ thực hiện trên cơ sở phân tích mối quan hệ đơn giản, một chiều, chưa thực sự mô tả được hết các mối quan hệ tương tác qua lại giữa các yếu tố trong hệ thống. Các giải pháp bảo đảm an toàn giao thông cũng triển khai trên cơ sở đó nên trong rất nhiều trường hợp không thực sự phát huy được hết hiệu quả như mong đợi. Các giải pháp điều chỉnh hành vi đòi hỏi phải có sự phân tích nguyên nhân - kết quả hành vi của người tham gia giao thông một cách hệ thống và khoa học để có được hiệu quả lâu dài và bền vững.

Bài báo trình bày phương pháp ước tính vận tốc của ô tô trước và sau va chạm bằng mô hình ma trận. Vận tốc được ước tính dựa trên sự biến thiên của động lượng

và năng lượng của ô tô, do đó không yêu cầu tính toán phức tạp và hệ thống tính toán có cấu hình cao. Kết quả của phương pháp ma trận được so sánh với kết quả mô phỏng của phần mềm PC-Crash cho thấy phương pháp ma trận đạt độ chính xác cao. Hiệu quả của phương pháp rất hữu ích trong việc xác định nhanh chóng nguyên nhân gây ra tai nạn và còn có thể đưa ra các biện pháp cảnh báo nhằm giảm thiểu tai nạn giao thông./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.M.Ngọc, Hiroaki Nishiuchi, N.V.Truong, L.T.Huyền (2021) *A comparative study on travel mode share, emission, and safety in five Vietnamese Cities*, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, <https://doi.org/10.1007/s13177-021-00283-0>
- [2] Matthew, B., Raymond, M. B., James, M. (2022) *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods*, Third Edition, SAE International.
- [3] Neades, J., (2013) Equivalence of impact-phase models in two vehicle planar collisions, Proc. IMechE D J. Automob.Eng. 227, 1325-1336.
- [4] Neades, J., Smith, R. (2011) The determination of vehicle speeds from delta-V in two vehicle planar collisions, Proc. IMechE D J. Automob. Eng. 225, 43-53
- [5] Dario, V., Filippo, B., Michelangelo-Santo, G., Florian, S. (2018) A vehicle model for crash stage simulation, IFAC-PapersOnLine, Vol. 51 (2), 837-842.
- [6] Witold, P., Kjell, G. R., Hamid, R. K. (2011) Mathematical modeling and parameters estimation of a car crash using data-based regressive model approach, Applied Mathematical Modelling, Vol. 35 (10), 5091-5107.
- [7] Deac, S., Perescu, A., Simoiu, D., Nyaguly, E., Crăștiu, I. (2018). Modeling and simulation of cars in frontal collision. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 294. 012090.
- [8] Witold, P., Jan, E. N., Hamid, R. K., Kjell, G. R. (2010). Mathematical modeling and analysis of a vehicle crash. Proceedings of the 4th European Computing Conference, 194-199.
- [9] Wang, Q., Gabler, H. (2007). Accuracy Of Vehicle Frontal Stiffness Estimates For Crash Reconstruction, Proceeding NHTSA.
- [10] James, L. (2016) Vector model of vehicle collisions for inferring velocity from loss of kinetic energy with restitution on residual crush surface, International Journal of Crashworthiness, vol. 21(4), 300-309.
- [11] WHO (2018): Global status report on road safety 2018, *WHO Library*, ISBN: 9789241565684