

Nghiên cứu đánh giá vùng “lưỡng nan” tại nút giao thông có đèn tín hiệu sử dụng dữ liệu giao thông thực tế ở Hà Nội

An evaluation of the dilemma zone at signalized intersections using empirical traffic data in Hanoi

> TS ĐẶNG MINH TÂN*, PGS.TS ĐỖ QUỐC CƯỜNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: tandang@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá và phân tích vùng “lưỡng nan” tại nút giao thông có đèn tín hiệu ở Hà Nội, sử dụng dữ liệu khảo sát tốc độ thực tế của các phương tiện giao thông trên một số tuyến đường ở Hà Nội. Vùng “lưỡng nan” là khu vực mà người lái xe gặp khó khăn trong việc quyết định dừng lại hay tiếp tục di chuyển khi đèn tín hiệu chuyển vàng, dẫn đến nguy cơ vượt đèn đỏ hoặc dừng đột ngột. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ xe chạy cao hơn dẫn đến vùng “lưỡng nan” rộng hơn, đặc biệt đối với xe máy và tại các tuyến đường đô thị có bề rộng lớn. Giảm thiểu vùng “lưỡng nan” tại nút giao thông có thể đạt được thông qua các chiến lược như quản lý tốc độ, kéo dài thời gian đèn vàng, ứng dụng hệ thống điều khiển tín hiệu thích ứng và sử dụng đồng hồ đếm ngược.

Từ khóa: Vùng “lưỡng nan”, nút giao thông có đèn tín hiệu, an toàn giao thông, vượt đèn đỏ, dữ liệu giao thông thực nghiệm.

ABSTRACT

This study focuses on evaluating and analyzing the “dilemma zone” at signalized intersections in Hanoi, using real-world speed survey data of vehicles on several roads in Hanoi. The dilemma zone is the area where drivers struggle to decide whether to stop or continue moving when the traffic light turns yellow, leading to the risk of running red lights. The research results show that higher vehicle speeds result in a wider dilemma zone, especially for motorcycles and on urban streets with large width. Minimizing the dilemma zone at signalized intersections can be achieved through strategies such as speed management, extending yellow duration, implementing adaptive signal control systems, and countdown timers.

Keywords: Dilemma zone, signalized intersections, traffic safety, red-light running, empirical traffic data.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các nút giao thông có đèn tín hiệu là yếu tố then chốt trong việc điều tiết giao thông và đảm bảo an toàn cho người tham gia giao thông. Tuy nhiên, tình trạng xung đột giao thông, ùn tắc và tai nạn vẫn diễn ra phổ biến tại nhiều nút giao thông có đèn tín hiệu, đặc biệt là trong giai đoạn chuyển pha đèn. Việc vượt đèn đỏ trong thời gian này tiềm ẩn nguy cơ va chạm nghiêm trọng với các phương tiện từ hướng khác.

Mặc dù Nghị định 168/2024/NĐ-CP [1] gần đây đã tăng mức phạt và góp phần nâng cao ý thức giao thông, tình trạng vượt đèn đỏ vẫn chưa được giải quyết triệt để. Nguyên nhân của vấn đề này không chỉ xuất phát từ ý thức người tham gia giao thông mà còn liên quan đến nhiều yếu tố phức tạp khác như điều kiện giao thông, thiết kế nút giao, hệ thống đèn tín hiệu, điều kiện thời tiết, biện pháp răn đe và các yếu tố hỗn hợp [2, 3, 4, 5, 6]. Để đưa ra giải pháp toàn diện và bền vững, cần thiết phải có những nghiên cứu khoa học chuyên sâu và đa chiều.

Một khái niệm quan trọng trong nghiên cứu về tình trạng vượt đèn đỏ là vùng “lưỡng nan” (Dilemma zone). Vùng “lưỡng nan” là

đoạn đường trước nút giao thông mà người lái xe gặp khó khăn trong việc quyết định dừng lại hay tiếp tục đi khi đèn tín hiệu bắt đầu thời điểm đèn vàng (Hình 1). Nếu không được xử lý đúng cách, có thể dẫn đến tình trạng vượt đèn đỏ hoặc dừng đột ngột, gây ra nguy cơ tai nạn giao thông. Mặc dù khái niệm này đã được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới, nhưng hiện ít được quan tâm ở Việt Nam.

Nghiên cứu về vùng “lưỡng nan” đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế và tổ chức giao thông. Nhận thức được tầm quan trọng của vấn đề này, nghiên cứu này sử dụng dữ liệu khảo sát tốc độ thực tế tại Hà Nội để tính toán và đánh giá vùng “lưỡng nan”. Dựa trên kết quả phân tích, nghiên cứu sẽ đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao ATGT tại các nút giao thông có đèn tín hiệu.

2. XÁC ĐỊNH VÙNG “LƯƠNG NẠN” VÀ MỘT SỐ NGHIÊN CỨU TRƯỚC ĐÂY VỀ VÙNG “LƯƠNG NẠN”

Để xác định vùng “lưỡng nan”, có nhiều phương pháp như tính toán giải tích, phương pháp thực nghiệm và mô phỏng. Phương pháp giải tích là phương pháp cơ bản phổ biến, sử dụng các công thức để tính toán vùng “lưỡng nan” dựa trên tốc độ xe, thời gian

phản ứng và gia tốc, thời gian đèn vàng... Để tính toán vùng "lưỡng nan", có thể áp dụng các công thức (1), (2) và (3), vận dụng theo nghiên cứu của Gazis và các đồng nghiệp [7].

$$d_{stop} = v \times t_r + \frac{v^2}{2 \times a} \quad (1)$$

$$d_{go} = v \times t_y \quad (2)$$

$$l_d = d_{stop} - d_{go} \quad (3)$$

Trong đó:

d_{stop} - Khoảng cách tối thiểu để phương tiện có thể dừng lại an toàn (m);

d_{go} - Khoảng cách tối đa phương tiện có thể đi vào nút giao thông trước khi đèn tín hiệu chuyển đỏ (m). Giả thiết khi phương tiện đi vào nút với vận tốc không đổi. Khi đi hết quãng đường d_{go} bánh trước của xe đã cán qua vạch dừng ngay trước khi đèn chuyển đỏ;

l_d - Chiều dài vùng lưỡng nan (m);

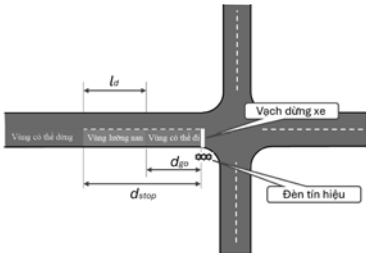
v - Tốc độ xe chạy khi di chuyển vào nút giao thông tại thời điểm đèn tín hiệu chuyển sang màu vàng (m/s);

t_r - Thời gian phản ứng tâm lý (s);

t_y - Thời gian đèn vàng (s);

a - Gia tốc xe có thể dừng lại một cách an toàn (m/s²).

Chú ý: Các công thức tính toán được sử dụng trong nghiên cứu này áp dụng cho các nút giao thông không có đồng hồ đếm ngược thời gian đèn tín hiệu. Khi có đồng hồ đếm ngược, người lái xe có thể điều chỉnh tốc độ và quyết định của mình dựa trên thời gian còn lại, do đó các công thức này không còn chính xác. Trong công thức (2), giả thiết xe chạy qua nút với tốc độ không đổi (gia tốc bằng 0).



Hình 1. Minh họa vùng "lưỡng nan" và cách xác định chiều dài vùng "lưỡng nan" (l_d)

Có nhiều nghiên cứu trước đây trên thế giới về vùng "lưỡng nan". Chẳng hạn, nghiên cứu của Gazis và các đồng nghiệp [7] đã xây dựng mô hình toán học đầu tiên về hiện tượng này, trong khi Sheffi và Mahmassani [8] tập trung phân tích hành vi của tài xế khi tiếp cận nút giao có đèn tín hiệu. Nghiên cứu của Elmitiny và cộng sự [9] cho thấy khoảng cách đến nút giao, tốc độ xe chạy và vị trí trong dòng xe là các yếu tố chính ảnh hưởng đến quyết định dừng/tiếp tục và vi phạm đèn đỏ. Liu và các đồng nghiệp [10] đề xuất giải pháp điều chỉnh thời gian đèn vàng để giảm thiểu rủi ro. Papaioannou [11] cho thấy rằng có đến 62% các phương tiện tăng tốc trong thời gian đèn vàng. Việc áp dụng những giải pháp hiện đại như hệ thống điều chỉnh đèn vàng thông minh [12] đã góp phần mang lại hiệu quả giảm thiểu vùng "lưỡng nan". Thêm vào đó, Suzuki và Ishikura [13] đã chứng minh rằng đồng hồ đếm ngược có thể làm giảm đáng khả năng phải đối mặt với tình huống "lưỡng nan", nó khuyến khích người lái xe giảm tốc sớm hơn và dừng lại khi vào nút giao thông.

Nhìn chung, các nghiên cứu trước đây vẫn chưa làm rõ được việc cá thể hóa phương tiện giao thông khi vào nút giao thông có đèn tín hiệu. Khi tiếp cận nút giao thông, mỗi phương tiện di chuyển với hành vi, tốc độ khác nhau sẽ rơi vào các vùng "lưỡng nan" có kích thước khác nhau và có rủi ro tai nạn khác nhau. Đây là một khía cạnh cần được nghiên cứu sâu hơn để đưa ra các giải pháp hiệu quả hơn trong quản lý, tổ chức giao thông.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, dữ liệu được sử dụng là dữ liệu được

khảo sát tại một số tuyến đường trong khu vực đô thị ở Hà Nội được trích xuất trong các nghiên cứu trước đây [14, 15]. Dữ liệu tốc độ được khảo sát đều là tốc độ tự do của các phương tiện ô tô (bao gồm xe con, xe buýt và xe tải) và xe máy, tại các tuyến đường LS2, Nguyễn Quốc Trị, Hoàng Quốc Việt (Bảng 1, 2 và 3). Giả định tình huống các tốc độ này là tốc độ xe chạy (tốc độ điểm) trên các tuyến đường vào các nút giao thông có đèn tín hiệu tại thời điểm đèn xanh chuyển sang vàng. Các tuyến đường vào nút giao thông có đèn tín hiệu giả định (giả định 3 nút giao thông tương ứng) có quy mô tương đương với tuyến đường được khảo sát. Dựa vào tốc độ này theo các công thức (1), (2), (3), khoảng cách d_{stop} , d_{go} và chiều dài vùng lưỡng nan l_d sẽ được tính. Các thông số được dùng trong các công thức trên được vận dụng từ các nghiên cứu trước đây. Theo AASHTO [16], thời gian phản ứng tâm lý sử dụng phanh là 1,5s, gia tốc dừng xe để đảm bảo an toàn đối với các phương tiện ô tô là 3,4 m/s², gia tốc dừng xe đối với các phương tiện xe máy là 2,75 m/s² [17]. Thời gian đèn vàng được lấy là 3s. Trên cơ sở các giá trị d_{stop} và d_{go} , l_d được tính, các biểu đồ đường cong tích lũy được xây dựng. Kết quả được thống kê trong Bảng 4, 5 và Hình 2, 3 và 4.

Bảng 1. Bảng tổng hợp thông số các đoạn đường được khảo sát

Ký hiệu	Tên tuyến đường	Bề rộng mặt đường (m)	Số làn xe (làn)	Ghi chú
1	LS2	8,2	2	Chiều đi từ Nguyễn Chánh đi Vành đai 3
2	Nguyễn Quốc Trị (NQT)	10,8	2	Chiều đi từ Trung Hòa đi Cầu Giấy
3	Hoàng Quốc Việt (HQV)	32	6	- Chiều đi từ đường Võ Chí Công đến đường Vành đai 3 - Có dải phân cách trung tâm

Bảng 2. Bảng tổng hợp một số thông số thống kê về tốc độ xe máy chạy tự do

Thông số thống kê	Đơn vị	LS2	NQT	HQV
Lớn nhất	m/s	13,04	13,98	20,00
85%	m/s	10,47	11,58	12,50
Trung bình	m/s	9,17	9,81	9,98
15%	m/s	7,69	8,20	7,09
Nhỏ nhất	m/s	6,51	6,24	3,63
Độ lệch chuẩn		1,37	1,56	2,56
Số mẫu		57	108	1158

Bảng 3. Bảng tổng hợp một số thông số thống kê về tốc độ ô tô chạy tự do

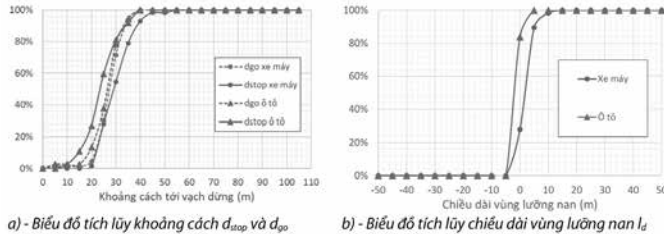
Thông số thống kê	Đơn vị	LS2	NQT	HQV
Lớn nhất	m/s	11,73	13,95	17,24
85%	m/s	10,20	11,49	12,33
Trung bình	m/s	8,86	9,72	9,94
15%	m/s	7,62	7,67	7,04
Nhỏ nhất	m/s	5,21	5,85	2,83
Độ lệch chuẩn		1,43	1,77	2,53
Số mẫu	mẫu	31	55	245

Bảng 4. Bảng tổng hợp một số thông số thống kê về giá trị d_{stop} và d_{go}

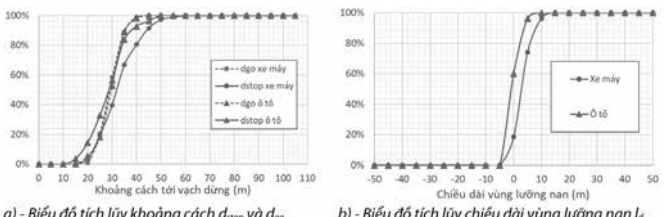
Thông số thống kê	LS2				NQT				HQV			
	d_{stop} (m)	d_{go} (m)	d_{stop} (m)	d_{go} (m)	d_{stop} (m)	d_{go} (m)	d_{stop} (m)	d_{go} (m)	d_{stop} (m)	d_{go} (m)	d_{stop} (m)	d_{go} (m)
	Xe máy	Xe máy	Ô tô	Ô tô	Xe máy	Xe máy	Ô tô	Ô tô	Xe máy	Xe máy	Ô tô	Ô tô
Lớn nhất	50,50	39,13	37,84	35,20	56,49	41,93	49,55	41,86	102,73	60,00	69,58	51,72
85%	36,63	31,97	30,30	30,40	41,75	34,74	36,26	34,23	47,16	37,50	40,89	37,01
Trung bình	29,67	27,69	24,39	26,02	32,57	29,38	28,95	29,17	34,30	29,95	30,37	29,81
15%	22,47	23,20	18,37	21,56	24,47	24,56	20,81	23,53	19,78	21,28	17,86	21,13
Nhỏ nhất	17,47	19,53	11,82	15,64	16,45	18,73	13,81	17,55	6,34	9,23	6,42	9,74
Độ lệch chuẩn	6,78	4,09	6,02	4,48	8,03	4,69	7,75	5,36	13,15	7,69	11,03	7,61

Bảng 5. Bảng tổng hợp một số thông số thống kê về chiều dài vùng “lưỡng nan”

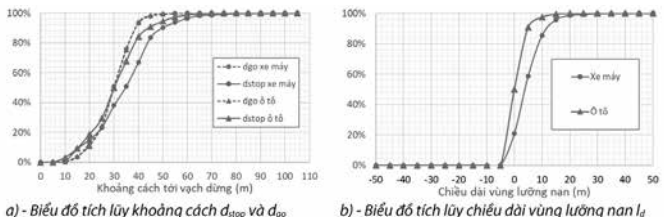
Thông số thống kê	LS2		NQT		HQV	
	l_d (m)		l_d (m)		l_d (m)	
	Xe máy	Ô tô	Xe máy	Ô tô	Xe máy	Ô tô
Lớn nhất	11,37	2,64	14,56	7,70	42,73	17,85
85%	4,66	-0,10	7,01	2,03	9,66	3,88
Trung bình	1,98	-1,63	3,19	-0,22	4,34	0,56
15%	-0,73	-3,19	-0,09	-2,72	-1,49	-3,27
Nhỏ nhất	-2,06	-3,82	-2,28	-3,74	-3,09	-3,82
Độ lệch chuẩn	2,71	1,58	3,37	2,45	5,62	3,58



Hình 2. Biểu đồ tích lũy về việc tính toán đoạn lưỡng nan với dữ liệu tốc độ đường LS2



Hình 3. Biểu đồ tích lũy về việc tính toán đoạn lưỡng nan với dữ liệu tốc độ đường NQT



Hình 4. Biểu đồ tích lũy về việc tính toán đoạn lưỡng nan với dữ liệu tốc độ đường HQV

Hình 2a, 3a và 4a thể hiện biểu đồ tích lũy khoảng cách d_{stop} (đường nét liền) và d_{go} (đường nét đứt). Hình 2b, 3b và 4b thể hiện biểu đồ tích lũy chiều dài vùng lưỡng nan l_d . Đường tích lũy lệch về bên phải thang đo thể hiện xu hướng giá trị lớn hơn. Đối với biểu đồ tích lũy chiều dài vùng lưỡng nan l_d , phần biểu đồ ở giá trị dương càng lớn thể hiện chiều dài vùng lưỡng nan lớn và khi đó nguy cơ các phương tiện rơi vào vùng này nhiều hơn. Cụ thể, kết quả cho thấy tuyến đường HQV có tốc độ xe chạy cao nhất và tốc độ ở tuyến đường LS2 là thấp nhất. Tuyến đường xe chạy cao hơn cho thấy khoảng cách tối thiểu để phương tiện có thể dừng lại an toàn d_{stop} lớn hơn, từ đó vùng lưỡng nan lớn hơn (Xem Bảng 4, 5 và Biểu đồ hình 2, 3, 4, các chỉ tiêu có giá trị lớn hơn thì biểu đồ tích lũy càng dịch chuyển về phía bên phải). Bảng 5 và Hình 2b, 3b, 4b cho thấy nút giao ở đường Hoàng Quốc Việt ghi nhận vùng “lưỡng nan” cao nhất (9,66 m với xe máy, 3,88 m với ô tô ở tần suất 85%), trong khi tuyến LS2 có giá trị thấp nhất. Xe máy có xu hướng dừng với khoảng cách lớn hơn và tốc độ cao hơn dẫn đến vùng “lưỡng nan” rộng hơn.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã thực hiện việc xác định và phân tích vùng “lưỡng nan” tại nút giao thông có đèn tín hiệu, sử dụng dữ liệu giao thông thực tế ở một số tuyến đường ở Hà Nội. Kết quả cho thấy,

vùng “lưỡng nan” có tính chất động, tốc độ xe chạy cao hơn dẫn đến vùng “lưỡng nan” rộng hơn, làm tăng đáng kể nguy cơ vượt đèn đỏ và tai nạn giao thông. Đặc biệt, xe máy, do đặc tính tốc độ và khả năng dừng xe khác biệt có xu hướng tạo ra vùng “lưỡng nan” lớn hơn so với ô tô. Quy mô tuyến đường cũng ảnh hưởng đáng kể, với các tuyến đường lớn như Hoàng Quốc Việt có vùng “lưỡng nan” rộng nhất do có nhiều phương tiện chạy với tốc độ cao, trong khi các tuyến đường nhỏ hơn có giá trị thấp hơn. Để hạn chế được vấn đề này, thông thường có giải pháp như hạn chế tốc độ, tăng thời gian đèn vàng, áp dụng các công nghệ điều khiển đèn thích ứng, bố trí đồng hồ đếm ngược.

Cần lưu ý rằng, nghiên cứu này được thực hiện trong điều kiện nút giao thông có đèn tín hiệu không bố trí đồng hồ đếm ngược và chỉ xét hành vi vượt đèn đỏ. Trong thực tế giao thông Việt Nam, việc lắp đặt đồng hồ đếm ngược và quy định xử phạt cả hành vi vượt đèn vàng có thể làm thay đổi đáng kể kích thước và ảnh hưởng của vùng “lưỡng nan”. Do đó, cần có các nghiên cứu tiếp theo để xem xét tác động của các yếu tố này, nhằm đưa ra giải pháp toàn diện và hiệu quả hơn cho việc cải thiện ATGT tại các nút giao ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Chính phủ (2024), Nghị định 168/2024/NĐ-CP Quy định xử phạt vi phạm hành chính về trật tự, an toàn giao thông trong lĩnh vực giao thông đường bộ; trừ điểm, phục hồi điểm gây phép lái xe.
- [2]. Retting, R. A., Williams, A. F., & Greene, M. A. (1999), Red-light running and sensible countermeasures, *Transportation Research Record*, 1693(1), 1-6.
- [3]. Porter, B. E., & England, K. J. (2000), Predicting red-light running behavior: A traffic safety study in three urban settings, *Journal of Safety Research*, 31(1), 1-8.
- [4]. Bonneson, J. A., & Zimmerman, K. (2004), Effect of yellow-interval timing on red-light violation frequency at urban intersections, *Transportation Research Record*, 1865(1), 20-27.
- [5]. Retting, R. A., Williams, A. F., & Greene, M. A. (1999), Red-light running and sensible countermeasures, *Transportation Research Record*, 1693(1), 1-6.
- [6]. Retting, R. A., & Kyrychenko, S. Y. (2002), Reductions in injury crashes associated with red-light camera enforcement in Oxnard, California, *American Journal of Public Health*, 92(11), 1822-1825.
- [7]. Gazis, D., Herman, R., & Maradudin, A. A. (1960), The problem of the amber signal light in traffic flow, *Operations Research*, 8(1), 112-132, DOI: 10.1287/opre.8.1.112.
- [8]. Sheffi, Y., & Mahmassani, H. (1981), A model of driver behavior at high-speed signalized intersections, *Transportation Science*, 15(1), 50-61.
- [9]. Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., & Nashar, D. (2010), Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation, *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 101-111.
- [10]. Liu, Y., Chang, G. L., Tao, R., Hicks, T., & Tabacek, E. (2007), Empirical observations of dynamic dilemma zones at signalized intersections, *Transportation Research Record*, 2035(1), 122-133. [DOI: 10.3141/2035-14].
- [11]. Papaioannou, P. (2007), Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece, *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 147-158.
- [12]. Hurwitz, D. S., Wang, H., Knodler Jr, M. A., Ni, D., & Moore, D. (2012), Fuzzy sets to describe driver behavior in the dilemma zone of high-speed signalized intersections. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(2), 132-143.
- [13]. Suzuki, H., & Ishikura, T. (2015), Green Phase Countdown Timer for Reducing Drivers' Dilemma at Signalized Intersection, In *FAST-zero'15: 3rd International Symposium on Future Active Safety Technology Toward zero traffic accidents*.
- [14]. Đặng Minh Tân và Lê Hoàng Tuấn Anh (2023), Nghiên cứu tốc độ của phương tiện giao thông tại vị trí người đi bộ qua đường trên một số tuyến đường trục chính TP Hà Nội, *Tạp chí GTVT*, số 733, tháng 9.
- [15]. Đặng Minh Tân và Trần Danh Hợp (2021), Nghiên cứu quy luật thời gian xe đến thực tế với dòng giao thông hỗn hợp trên một số tuyến đường đô thị ở Hà Nội, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, tập 72, số 5, tháng 6, 580-590.
- [16]. AASHTO (2018), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. ISBN: 978-1-56051-508-1.
- [17]. Davoodi, Seyed Rasoul (2011), *Motorcycle - stopping sight distance model for geometric design of exclusive motorcycle lanes*. PhD thesis, Universiti Putra Malaysia.