



Mô phỏng vi mô và tối ưu hóa tín hiệu giao thông bằng thuật toán

DI TRUYỀN CHO HÀNH LANG ĐÔ THỊ TRUNG TÂM ĐÔ THỊ NHA TRANG, TỈNH KHÁNH HÒA

PHAN ANH TUẤN ¹, ĐỖ TRÍ CƯỜNG ², TRỊNH TÚ ANH ^{2*}

MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION AND GENETIC ALGORITHM-BASED TRAFFIC SIGNAL OPTIMIZATION FOR AN URBAN CORRIDOR IN DOWNTOWN NHA TRANG, KHANH HOA PROVINCE

Traffic congestion in coastal tourism cities has become a serious problem due to mixed traffic flow and strong seasonal fluctuations in tourism. In Nha Trang City, the old Loc Tho Ward (now Nha Trang Ward) frequently experiences congestion during peak hours, affecting traffic operation efficiency and urban quality of life. This study develops a microscopic traffic simulation model using AnyLogic software for the Tran Phu - Nguyen Thi Minh Khai - Hung Vuong - Nguyen Thien Thuat corridor, combined with a genetic algorithm to optimize traffic signal control parameters. Directional traffic flow data by vehicle type were collected using specialized recording devices at three critical intersections, processed and converted to standard passenger car units (PCU) as model input. Results show that the optimized scenario reduces average delay by 25-30%, maximum queue length by nearly 30%, and increases average travel speed by approximately 30%, while improving the level of service from D to C. The study confirms the effectiveness and applicability of this method in the context of coastal tourism cities in Vietnam.

Keywords: traffic simulation; signal optimization; genetic algorithm; AnyLogic; traffic congestion; Nha Trang.

Ùn tắc giao thông tại các đô thị du lịch ven biển đang trở thành vấn đề nghiêm trọng do lưu lượng giao thông hỗn hợp và biến động mạnh theo mùa du lịch. Tại thành phố Nha Trang, khu vực phường Lộc Thọ cũ (nay là phường Nha Trang) thường xuyên xảy ra ùn tắc trong giờ cao điểm, ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành giao thông và chất lượng sống đô thị. Nghiên cứu này xây dựng mô hình mô phỏng giao thông vi mô bằng phần mềm AnyLogic cho hành lang Trần Phú - Nguyễn Thị Minh Khai - Hùng Vương - Nguyễn Thiện Thuật, kết hợp thuật toán di truyền để tối ưu hóa các tham số điều khiển tín hiệu đèn giao thông. Dữ liệu lưu lượng theo hướng và theo loại phương tiện được thu thập từ thiết bị ghi hình chuyên dụng tại ba nút giao trọng yếu, xử lý và quy đổi về đơn vị xe con tiêu chuẩn (PCU) làm đầu vào cho mô hình. Kết quả cho thấy phương án sau tối ưu hóa giúp giảm độ trễ trung bình 25-30%, giảm chiều dài hàng chờ cực đại gần 30% và tăng vận tốc hành trình trung bình khoảng 30%, đồng thời cải thiện mức phục vụ từ D lên C. Nghiên cứu khẳng định tính hiệu quả và khả năng ứng dụng của phương pháp trong bối cảnh đô thị du lịch ven biển ở Việt Nam.

Từ khóa: mô phỏng giao thông; tối ưu hóa tín hiệu; thuật toán di truyền; AnyLogic; ùn tắc giao thông; Nha Trang.

1. Giới thiệu

Ùn tắc giao thông đô thị là hệ quả phổ biến của quá trình đô thị hóa nhanh, gây tổn thất lớn về thời gian, chi phí nhiên liệu và gia tăng phát thải khí nhà kính. Tại nhiều thành phố trên thế giới, ùn tắc làm suy giảm chất lượng sống và hiệu quả kinh tế đô thị, đặc biệt nghiêm trọng ở các quốc gia đang phát triển, nơi tốc độ gia tăng phương tiện vượt xa năng lực hạ tầng [1].

Tại Việt Nam, ùn tắc giao thông không chỉ tập trung ở các đô thị lớn mà ngày càng rõ nét tại các thành phố du lịch ven biển như Nha Trang, Đà Nẵng và Vũng Tàu. Thành phố Nha Trang đón hàng triệu lượt khách mỗi năm trong khi quy mô dân số thường trú ở mức trung bình [2]. Khu vực phường Lộc Thọ, nơi tập trung dày đặc các cơ sở lưu trú và dịch vụ du lịch, thường xuyên xảy ra ùn tắc tại các nút giao trên trục Trần Phú - Nguyễn Thị Minh Khai, đặc biệt trong giờ cao điểm sáng và chiều tối.

Đặc trưng giao thông hỗn hợp với tỷ lệ xe máy cao, cùng sự gia tăng nhanh của xe con và xe khách du lịch, khiến động lực học dòng giao thông trở nên phức tạp và khó mô tả bằng các mô hình truyền thống được phát triển cho môi trường ô tô chiếm ưu thế [3]. Trong thực tiễn quản lý, các biện pháp như điều khiển tín hiệu theo chu kỳ cố định hoặc điều chỉnh thời gian xanh theo khung giờ thường được áp dụng, song chưa phản ánh đầy đủ sự biến động của lưu lượng, đặc biệt trong bối cảnh du lịch mang tính mùa vụ, dẫn đến kéo dài thời gian chờ hoặc phát sinh hiện tượng hàng chờ tràn ngược.

Mô hình mô phỏng giao thông vi mô đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới để phân tích và tối ưu hóa điều khiển tín hiệu, với nhiều công cụ như VISSIM, Aimsun hay SUMO, cho phép đánh giá hiệu quả các phương án điều khiển trong môi trường. Tuy nhiên, việc áp dụng các mô hình này cho giao thông hỗn hợp chiếm ưu thế xe máy vẫn còn hạn chế và các nghiên cứu tối ưu hóa tín hiệu tại Việt Nam còn tương đối ít.

Xuất phát từ khoảng trống nghiên cứu đó, bài báo này xây dựng mô hình mô phỏng giao thông vi mô bằng phần mềm

AnyLogic cho hành lang giao thông phường Lộc Thọ (cũ) dựa trên dữ liệu thực đo, đồng thời ứng dụng thuật toán di truyền để tối ưu hóa các tham số điều khiển tín hiệu gồm chu kỳ, thời gian xanh và độ lệch pha [4]. Mục tiêu của nghiên cứu là giảm ùn tắc và nâng cao mức phục vụ của mạng lưới giao thông mà không cần mở rộng hạ tầng hình học; đối tượng nghiên cứu là hệ thống điều khiển tín hiệu đèn giao thông tại các nút giao trên hành lang Trần Phú - Nguyễn Thị Minh Khai thuộc phường Lộc Thọ (cũ) trong điều kiện giao thông đô thị ven biển có tỷ lệ xe máy cao.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là hành lang giao thông trung tâm phường Lộc Thọ (cũ), gồm bốn tuyến chính: Trần Phú, Nguyễn Thị Minh Khai, Hùng Vương và Nguyễn Thiện Thuật. Đây là khu vực tập trung dày đặc các cơ sở lưu trú, dịch vụ du lịch và hoạt động thương mại, có lưu lượng giao thông lớn và biến động mạnh theo mùa du lịch [2].

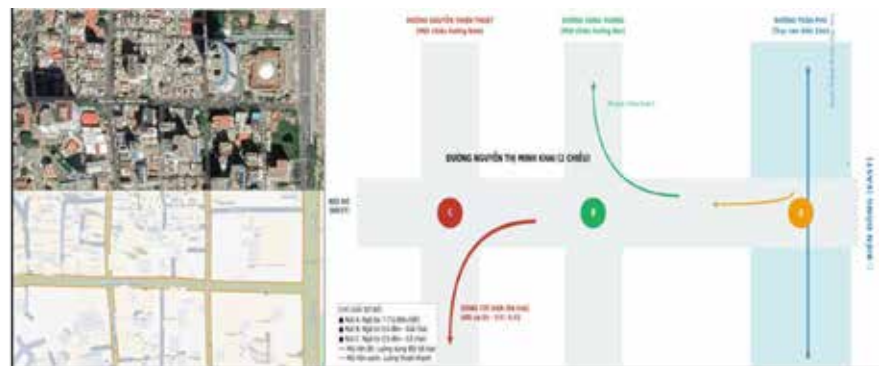
Đường Trần Phú là trục ven biển chính, mặt cắt ba làn mỗi chiều, đảm nhận phần lớn lưu lượng xe du lịch và xe cá nhân. Nguyễn Thị Minh Khai đóng vai

trò trục kết nối Đông - Tây giữa khu nội đô và Trần Phú, trong khi Hùng Vương và Nguyễn Thiện Thuật là hai tuyến một chiều song song, mỗi tuyến ba làn, thực hiện chức năng thu gom và phân phối lưu lượng trong khu vực.

Nghiên cứu tập trung vào ba nút giao then chốt: nút A (Trần Phú - Nguyễn Thị Minh Khai), nút B (Hùng Vương - Nguyễn Thị Minh Khai) và nút C (Nguyễn Thiện Thuật - Nguyễn Thị Minh Khai). Đây là các nút có mức độ tương tác cao và thường xuyên xảy ra ùn tắc trong giờ cao điểm, đặc biệt vào mùa du lịch [5], do đó được lựa chọn làm khu vực đại diện để đánh giá hiệu quả mô phỏng và tối ưu hóa điều khiển tín hiệu trong điều kiện giao thông đô thị ven biển (được thể hiện ở Hình 1).

2.2. Thu thập và xử lý dữ liệu

Dữ liệu giao thông được thu thập nhằm cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình mô phỏng vi mô thông qua thiết bị ghi hình chuyên dụng bố trí trên cao tại ba nút giao trọng yếu (A, B, C). Vị trí đặt camera bảo đảm bao quát toàn bộ khu vực giao lộ và các đoạn dẫn nhập, cho phép ghi nhận đầy đủ lưu lượng và đặc trưng hàng chờ như được trình bày ở Hình 2.



Hình 1: Đặc trưng hình học và đặc điểm vận hành tại các tuyến đường nghiên cứu



Hình 2: Thu thập dữ liệu giao thông bằng thiết bị chuyên dụng

Khảo sát được thực hiện trong tuần cao điểm du lịch, tập trung vào hai khung giờ cao điểm 07:00-09:00 và 17:00-19:00 để phản ánh điều kiện tải lớn của mạng lưới. Từ dữ liệu video, lưu lượng được trích xuất theo từng hướng di chuyển và phân loại theo năm nhóm phương tiện chính. Dữ liệu được tổng hợp theo khoảng thời gian 15 phút nhằm xác định các đỉnh lưu lượng cục bộ.

Để phản ánh đặc trưng giao thông hỗn hợp, lưu lượng được quy đổi về đơn vị xe con tiêu chuẩn (PCU) theo TCVN 4054:2005 [6]. Các ma trận lưu lượng PCU sau đó được chuẩn hóa và sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các kịch bản mô phỏng trong phần mềm AnyLogic.

2.3. Xây dựng mô hình mô phỏng vi mô

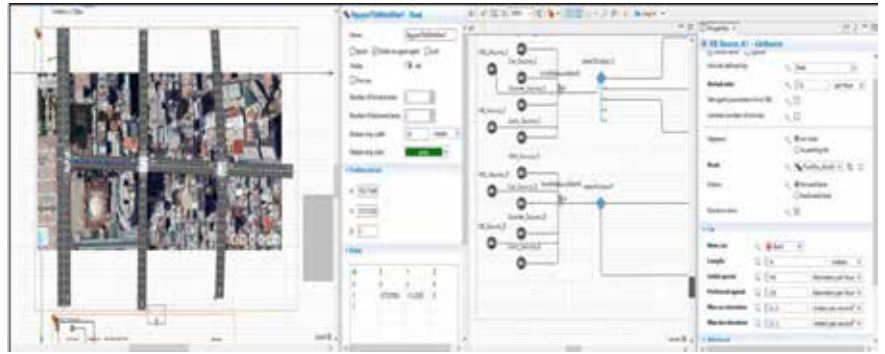
Mô hình mô phỏng vi mô được thiết lập trong môi trường phần mềm AnyLogic, sử dụng thư viện Road Traffic Library nhằm tái hiện đặc trưng dòng giao thông hỗn hợp tại khu vực nghiên cứu (thể hiện ở Hình 3 và 4). Quy trình xây dựng mô hình được thực hiện theo các giai đoạn sau:

(i) Số hóa hạ tầng mạng lưới: Hình học các tuyến đường, số làn xe, hướng di chuyển, vị trí vạch dừng và các làn rẽ dành riêng được xây dựng dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh và kết quả khảo sát thực địa tại khu vực phường Lộc Thọ (cũ).

(ii) Mô hình hóa điều khiển nút giao: Trong kịch bản cơ sở, nút A được thiết lập là nút không tín hiệu; các nút B và C được cấu hình hệ thống đèn tín hiệu với cấu trúc hai pha, tương ứng với chế độ điều khiển hiện hữu.

(iii) Thiết lập dòng giao thông đầu vào: Lưu lượng tại các điểm cửa ngõ của mạng lưới được gán theo chuỗi thời gian dựa trên ma trận lưu lượng xe con quy đổi (PCU). Tỷ lệ các loại phương tiện (xe máy, xe con, xe khách...) được thiết lập theo phân phối thực tế trích xuất từ dữ liệu ghi hình khảo sát.

(iv) Hiệu chỉnh tham số hành vi: Các tham số về tốc độ tự do, khoảng cách an toàn, gia tốc và giảm tốc được điều chỉnh nhằm phản ánh đặc thù hành vi giao thông hỗn hợp với tỷ lệ xe máy cao tại Việt Nam. Quá trình hiệu chỉnh được thực hiện thông qua so sánh chiều dài hàng chờ và vận tốc hành trình mô phỏng với số liệu quan trắc thực tế.



Hình 3: Mô phỏng mạng lưới giao thông và thiết lập tham số hành vi, logic di chuyển của các phương tiện trong AnyLogic

(v) Thiết lập các kịch bản mô phỏng: Trên cơ sở mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định, hai kịch bản chính được xây dựng: (1) kịch bản hiện trạng, trong đó nút A không có tín hiệu và các nút B, C vận hành với chu kỳ cố định 90 giây (hai pha) và không có phối hợp tín hiệu dọc tuyến và (2) kịch bản sau tối ưu hóa, trong đó toàn bộ hành lang được tín hiệu hóa, nút A áp dụng cấu trúc ba pha tách dòng rẽ trái, các nút B và C áp dụng cấu trúc bốn pha tách dòng. Các tham số điều khiển như chu kỳ chung (C), thời gian xanh (gi) và độ lệch pha (offset) được xác định thông qua thuật toán di truyền.

2.4. Thuật toán di truyền tối ưu hóa tín hiệu

Nghiên cứu ứng dụng Thuật toán Di truyền (Genetic Algorithm - GA) tích hợp trong công cụ OptQuest của phần mềm AnyLogic để giải quyết bài toán tối ưu hóa tín hiệu giao thông phối hợp cho hành lang nghiên cứu. GA được lựa chọn nhờ khả năng tìm kiếm lời giải tối ưu trong không gian đa biến phi tuyến tính, đặc biệt phù hợp với đặc thù dòng giao thông hỗn hợp tại đô thị Việt Nam [7] (như thể hiện ở Hình 5).

Không gian tìm kiếm và biến quyết định: Cấu trúc cá thể trong quần thể GA được thiết lập dựa trên ba nhóm biến quyết định then chốt nhằm đồng bộ hóa mạng lưới:

(i) Chu kỳ chung (C): Ràng buộc trong khoảng 60-120 giây để đảm bảo tính chu kỳ đồng nhất cho toàn mạng lưới.

(ii) Phân bổ thời gian xanh (Splits): Tối ưu hóa dung lượng thông hành cho từng pha tại mỗi nút giao dựa trên lưu lượng PCU thực đo.

(iii) Độ lệch pha (Offsets): Thiết lập mối liên hệ thời gian giữa các nút dọc trục Nguyễn Thị Minh Khai nhằm hình thành "làn sóng xanh", giảm thiểu việc dừng xe đột ngột.

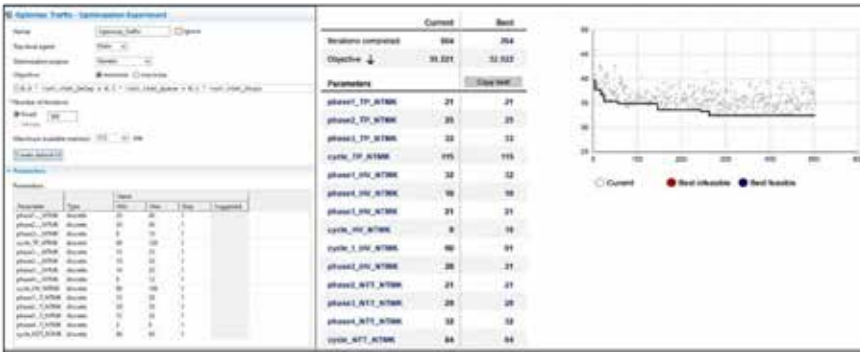
Hàm mục tiêu (Fitness Function):

Để đánh giá hiệu quả của từng phương án điều khiển, một hàm mục tiêu đa tiêu chí $f(x)$ được xây dựng dựa trên cách tiếp cận Hàm chi phí tổng hợp (Performance Index - PI) từ mô hình TRANSYT [8]. Hàm này được điều chỉnh trọng số để phản ánh các ưu tiên quản lý giao thông tại khu vực phường Lộc Thọ:

$$f(x) = 0.6 \cdot D_{avg} + 0.3 \cdot Q_{max} + 0.1 \cdot S_{avg} \quad (1)$$



Hình 4: Chạy kịch bản mô phỏng (2) dưới dạng 2D và 3D trong AnyLogic



Hình 5: Thiết lập hàm mục tiêu và tối ưu hóa tín hiệu đèn giao thông bằng thuật toán di truyền trong AnyLogic

$$GEH = \sqrt{2 \cdot \frac{(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{Q_{sim} + Q_{obs}}}$$

(2)

Trong đó: Q_{obs} là lưu lượng quan sát thực tế tại mặt cắt và Q_{sim} là lưu lượng trích xuất từ mô hình mô phỏng (PCU/h). Theo khuyến nghị của Cục Quản lý Đường cao tốc Liên bang Hoa Kỳ (FHWA), mô hình được coi là đạt yêu cầu cho mục tiêu phân tích và tối ưu hóa tín hiệu khi giá trị $GEH < 5,0$ tại ít nhất 85% các mặt cắt kiểm soát. Kết quả kiểm định cho thấy tại 06 luồng giao thông đại diện ở ba nút A, B và C, tất cả các giá trị GEH đều nhỏ hơn 5,0, với sai số phần trăm lưu lượng dao động trong khoảng 4-11%. Ở cấp độ vĩ mô, thời gian hành trình mô phỏng trên hành lang Trần Phú và Nguyễn Thị Minh Khai có sai số dưới 3,5% so với dữ liệu thực tế thu thập từ cảm biến. Đồng thời, chiều dài hàng chờ mô phỏng tại nút C thể hiện sự tương đồng tốt với hình ảnh ghi nhận từ thiết bị ghi hình chuyên dụng. Các chỉ dấu thống kê trên cho phép khẳng định mô hình mô phỏng có độ tin cậy cao, tạo nền tảng vững chắc cho các bước phân tích và tối ưu hóa tín hiệu tiếp theo.



Trong đó:

D_{avg} (Độ trễ trung bình) được gán trọng số ưu tiên 0,6 vì đây là thước đo chính của Mức phục vụ (LOS) theo Highway Capacity Manual [9].

Q_{max} (Chiều dài hàng chờ tối đa) có trọng số 0,3, phản ánh mức độ cấp thiết của việc ngăn chặn hiện tượng ùn tắc lan truyền (spillback) giữa các nút giao cự ly ngắn.

S_{avg} (Số lần dừng) có trọng số 0,1, đại diện cho chi phí vận hành phương tiện và phát thải môi trường.

Quy trình vận hành và kiểm soát nhiều: Cơ chế tối ưu hóa được vận hành theo quy trình tiến hóa lặp. Để triệt tiêu nhiễu ngẫu nhiên đặc trưng của mô phỏng vi mô và đảm bảo độ tin cậy thống kê, mỗi giải pháp (cá thể) được thực hiện lặp lại 05 lần với các hạt giống ngẫu nhiên khác nhau. Giá trị trung bình của hàm mục tiêu $f(x)$ qua các lần chạy được sử dụng làm căn cứ để thực hiện các toán tử lai ghép và đột biến. Thuật toán sẽ dừng lại khi giá trị hàm mục tiêu hội tụ hoặc đạt đến giới hạn thế hệ đã thiết lập.

2.5. Chỉ tiêu đánh giá hiệu quả

Để đánh giá định lượng hiệu suất vận hành của mạng lưới giao thông trước và sau khi tối ưu hóa, nghiên cứu sử dụng hệ thống chỉ tiêu được trích xuất trực tiếp từ mô hình mô phỏng AnyLogic, bao gồm:

(i) Độ trễ trung bình (D_{avg}): Thời gian di chuyển cộng thêm của phương tiện do ảnh hưởng của điều khiển tín hiệu và các xung đột giao thông (s/xe). Đây là chỉ tiêu phản ánh trực tiếp mức độ ùn tắc của mạng lưới.

(ii) Chiều dài hàng chờ cực đại (Q_{max}): Khoảng cách hàng xe dài nhất tính từ vạch dừng (m), được sử dụng để đánh giá nguy cơ tràn ngược (spillback) gây ùn tắc dây chuyền giữa các nút giao.

(iii) Số lần dừng trung bình (S_{avg}): Số lần phương tiện phải dừng hoàn toàn khi di chuyển qua mạng lưới (lần/xe), chỉ tiêu này có mối liên hệ chặt chẽ với mức tiêu hao nhiên liệu và phát thải khí nhà kính.

(iv) Vận tốc hành trình trung bình (V_{avg}): Tốc độ trung bình của phương tiện trên toàn hành lang nghiên cứu (km/h), phản ánh khả năng lưu thông tổng thể của tuyến.

(v) Mức phục vụ (Level of Service - LOS): Chỉ tiêu định tính dùng để phân loại trạng thái vận hành của nút giao từ mức A (lưu thông tự do) đến F (ùn tắc nghiêm trọng), được xác định chủ yếu dựa trên ngưỡng độ trễ theo hướng dẫn của Highway Capacity Manual (HCM 2010).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Mô hình mô phỏng giao thông vi mô được hiệu chỉnh và kiểm định nhằm đảm bảo mức độ phù hợp với điều kiện thực tế. Quá trình hiệu chỉnh tập trung vào các tham số hành vi của dòng giao thông hỗn hợp và được đánh giá thông qua so sánh lưu lượng tại các mặt cắt kiểm soát và chiều dài hàng chờ tại nút C - điểm nghẽn chính của mạng lưới.

Chỉ số GEH (Geoffrey E. Havers) được sử dụng làm thước đo chính để đánh giá mức độ phù hợp của lưu lượng mô phỏng. Công thức được xác định như sau [10]:

Bảng 1: So sánh chỉ tiêu vận hành trước và sau tối ưu hóa

Chỉ tiêu	Hiện trạng	Sau tối ưu hóa	Thay đổi
Độ trễ trung bình (s/xe)	32,5	24,1	-25,8%
Chiều dài hàng chờ cực đại (m)	82,4	58,5	-29,0%
Vận tốc trung bình (km/h)	15,2	19,8	+30,2%
Số lần dừng trung bình (lần/xe)	3,5	2,1	-40,0%
Mức phục vụ (LOS)	D	C	Cải thiện 1 bậc

3.2. Hiệu quả tối ưu hóa tín hiệu

Bảng 1 trình bày so sánh các chỉ tiêu vận hành chính giữa kịch bản hiện trạng và kịch bản sau tối ưu hóa bằng thuật toán di truyền trong giờ cao điểm tối.

Kết quả cho thấy phương án điều khiển sau tối ưu hóa mang lại sự cải thiện rõ rệt về hiệu suất vận hành của mạng lưới. Cụ thể, độ trễ trung bình giảm hơn 25%, vận tốc hành trình tăng khoảng 30%, số lần dừng giảm 40% và mức phục vụ toàn mạng được nâng từ mức D lên mức C. Đáng chú ý, chiều dài hàng chờ cực đại tại nút C giảm gần 30%, qua đó hạn chế hiệu quả hiện tượng hàng chờ tràn ngược về nút B - một trong những nguyên nhân chính gây ùn tắc dây chuyền trên hành lang nghiên cứu.

Phân tích chi tiết theo từng nút giao cho thấy các cải thiện đạt được có mối liên hệ chặt chẽ với cấu trúc điều khiển tín hiệu được điều chỉnh. Tại

nút A, việc bổ sung đèn tín hiệu ba pha giúp loại bỏ các xung đột rẽ trái từ đường Nguyễn Thị Minh Khai vào Trần Phú, đồng thời hình thành các đoàn xe ổn định, tạo điều kiện thuận lợi cho việc phối hợp tín hiệu dọc tuyến, mặc dù độ trễ tại nút này tăng nhẹ so với trạng thái không điều khiển tín hiệu. Tại nút B, việc tối ưu hóa chu kỳ và độ lệch pha giúp các đoàn xe từ hướng biển vào trung tâm gặp liên tiếp nhiều pha xanh hơn, từ đó làm giảm đáng kể số lần dừng không cần thiết. Tại nút C, việc chuyển sang cấu trúc điều khiển bốn pha, tách riêng các dòng rẽ và ưu tiên thời gian xanh cho hướng chính Đông - Tây được xác định là yếu tố quyết định giúp giảm mạnh độ trễ và chiều dài hàng chờ, góp phần giải quyết hiệu quả điểm nghẽn của toàn hành lang.

Các kết quả thu được phù hợp với xu hướng chung được ghi nhận trong các nghiên cứu tối ưu hóa tín hiệu

bằng các phương pháp metaheuristic, trong đó mức giảm độ trễ thường dao động trong khoảng 10-25% đối với các mạng lưới đô thị khác nhau. Đồng thời, nghiên cứu này cho thấy khả năng áp dụng hiệu quả phương pháp tối ưu hóa dựa trên thuật toán di truyền trong bối cảnh giao thông hỗn hợp tại các đô thị du lịch ven biển ở Việt Nam.

4. Kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo

Bài báo đã xây dựng và ứng dụng thành công mô hình mô phỏng giao thông vi mô bằng phần mềm AnyLogic cho một hành lang giao thông điển hình tại phường Lộc Thọ (cũ) dựa trên dữ liệu lưu lượng thu thập từ thiết bị ghi hình chuyên dụng. Trên nền tảng mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định thông qua các chỉ tiêu lưu lượng và thời gian hành trình, thuật toán di truyền được áp dụng để tối ưu hóa các tham số điều khiển tín hiệu đèn giao thông tại ba nút giao trọng yếu. Kết quả mô phỏng cho thấy phương án điều khiển sau tối ưu hóa giúp giảm đáng kể độ trễ, chiều dài hàng chờ và số lần dừng của phương tiện, đồng thời nâng mức phục vụ toàn mạng từ D lên C mà không cần mở rộng hạ tầng hình học. Các kết quả này khẳng định tính khả thi và hiệu quả của cách tiếp cận kết hợp mô phỏng vi mô và tối ưu hóa dựa trên thuật toán di truyền trong bài toán giảm ùn tắc giao thông tại các đô thị du lịch ven biển ở



Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh nguồn lực đầu tư cho hạ tầng còn hạn chế. Tuy nhiên, nghiên cứu hiện mới dừng lại ở mức tối ưu hóa ngoại tuyến dựa trên dữ liệu khảo sát trong một giai đoạn cao điểm điển hình. Các phương án điều khiển tín hiệu đề xuất vẫn mang tính tĩnh theo khung giờ và chưa tích hợp dữ liệu giao thông thời gian thực để điều chỉnh linh hoạt theo các biến động ngắn hạn của lưu lượng. Trong các nghiên cứu tiếp theo, có thể mở rộng phạm vi mô hình cho mạng lưới giao thông ở quy mô toàn thành phố, đồng thời kết hợp đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội của các phương án điều khiển. Bên cạnh đó, việc tích hợp các nguồn dữ liệu giao thông thời gian thực từ camera và cảm biến vào mô hình sẽ là bước quan trọng nhằm hướng tới các hệ thống điều khiển tín hiệu thích ứng linh hoạt hơn theo điều kiện vận hành thực tế.

- (1). Văn phòng Ủy ban nhân dân tỉnh Khánh Hòa
 - (2). Trường công nghệ và thiết kế, Đại học Kinh tế TP.HCM
- (*) Tác giả liên hệ: trinhtuanh@ueh.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/10/2025

Ngày gửi phản biện: 17/10/2025

Ngày duyệt đăng: 15/12/2025

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Tài liệu tham khảo quốc tế (International References):

- [1] Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. (2019). 2019 urban mobility report. Texas A&M Transportation Institute.
- [3] Nguyen, M. H., & Pojani, D. (2019). Why do Vietnamese people choose to ride a motorcycle? A case study of Hanoi. *Journal of Transport Geography*, 69, 1–10.
- [4] Borshchev, A. (2013). *The big book of simulation modeling: Multimethod modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America.
- [7] Park, B., Messer, C. J., & Urbanik, T. (2003). Traffic signal optimization for oversaturated conditions using genetic algorithms. *Transportation Research Record*, 1856, 180–188.
- [8] Robertson, D. I. (1969). TRANSYT: A traffic network study tool (RRL Report LR 253). Road Research Laboratory.
- [9] Transportation Research Board. (2010). *Highway capacity manual 2010*. National Research Council.
- [10] Federal Highway Administration. (2019). *Traffic analysis toolbox volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software (FHWA HOP 19 031)*. U.S. Department of Transportation.

Tài liệu tham khảo Việt Nam (Vietnamese References):

- [2] Cục Thống kê Khánh Hòa. (2024). Niên giám thống kê tỉnh Khánh Hòa năm 2024. Nhà xuất bản Thống kê.
- [5] Ủy ban nhân dân tỉnh Khánh Hòa. (2025). Đề án tổ chức, phát triển giao thông đường bộ Thành phố Nha Trang đến năm 2030 và định hướng đến năm 2040 (Quyết định số 1536/QĐ-UBND ngày 06/6/2025).
- [6] Bộ Giao thông vận tải. (2005). TCVN 4054:2005 -- Đường ô tô -- Yêu cầu thiết kế. Nhà xuất bản Xây dựng.

