

ỨNG DỤNG LÓGIC MỜ XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TÍN HIỆU ĐÈN GIAO THÔNG THÔNG MINH

Hoàng Thị Thanh Hà¹, Kiều Anh Tuấn², Lê Văn Lâm³

¹ Trường Đại học Kinh tế, Đại học Đà Nẵng

² Đại học Đà Nẵng

³ Đại học Cần Thơ

ha.htt@due.edu.vn, kieuanhtuan89@gmail.com, lvlam@ctu.edu.vn

TÓM TẮT — Hầu hết các hệ thống đèn tín hiệu giao thông ở nước ta hiện nay hoạt động dựa trên nguyên tắc định thời, với chu kỳ đóng mở đèn xanh-đỏ được thiết lập cố định tại các nút giao cắt. Điều này tỏ ra kém hiệu quả khi số lượng các phương tiện lưu thông trên các tuyến đường thường không đều nhau. Lượng xe trên tuyến đường có lưu lượng cao sẽ tích lũy theo thời gian, là một trong những nguyên nhân cơ bản dẫn đến tình trạng tắc nghẽn ngày càng trầm trọng. Nghiên cứu và phát triển hệ thống điều khiển tín hiệu đèn giao thông thông minh để có thể tự động điều khiển thời gian đèn xanh - đỏ linh hoạt dựa vào lưu lượng giao thông của từng tuyến đường theo thời gian thực là mục tiêu của bài báo. Chúng tôi đã xây dựng mô hình đa tác tử điều khiển tín hiệu đèn giao thông/đỏ một cách tối ưu, hạn chế thời gian chờ cho các phương tiện. Mô hình đã được cài đặt trên nền tảng Jade và tích hợp với platform mô phỏng hệ thống giao thông Sumo để có thể đánh giá mô hình so sánh với phương pháp truyền thống là chu kỳ đèn được thiết lập trước.

Từ khóa— Đa tác tử, đèn giao thông thông minh, lôgic mờ, mô hình hóa và mô phỏng.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, cơ sở hạ tầng giao thông (GT) ở nước ta chưa được phát triển tốt cùng với đó là sự gia tăng nhanh chóng số lượng các phương tiện tham gia (PTTGGT) đã gây nên tình trạng ách tắc GT một cách thường xuyên ở các tuyến đường huyết mạch của các thành phố lớn. Trong khi đó, hầu hết các hệ thống đèn tín hiệu GT ở nước ta hiện nay hoạt động dựa trên nguyên tắc định thời, với chu kỳ đóng mở đèn xanh-đỏ được thiết lập cố định cho các tuyến đường trên các nút giao cắt. Điều này tỏ ra kém hiệu quả khi số lượng các phương tiện lưu thông trên các tuyến đường thường không đều nhau. Với chu kỳ đèn tín hiệu cố định, số lượng xe trên tuyến đường có lưu lượng cao tại một thời điểm nhất định nào đó sẽ tích lũy theo thời gian, gây nên tình trạng dồn ứ tại một tuyến đường, còn tuyến đường còn lại thì lại thông thoáng. Đây cũng là một nguyên nhân cơ bản dẫn đến tắc nghẽn tại các điểm nút giao cắt có tín hiệu đèn. Điều này không chỉ gây lãng phí về thời gian, nhiên liệu mà còn ảnh hưởng xấu đến sức khỏe, tâm lý người dân và môi trường sinh thái.

Công nghệ đa tác tử với các ưu điểm nổi bật về khả năng hoạt động tự chủ, có thể cảm nhận và tương tác với môi trường. Nó có thể thực hiện các xử lý thông minh thay thế cho con người để thực thi những công việc được giao. Các trụ tín hiệu đèn GT tại một điểm giao cắt có thể được coi như là các tác tử. Chúng có thể chia sẻ thông tin về luồng GT tại tuyến đường của nó với các trụ khác. Vấn đề đặt ra là với tại một thời điểm t nào đó, với số lượng các phương tiện tham gia GT hiện hữu thì thời gian đóng mở tín hiệu xanh-đỏ của các đèn là bao nhiêu để tối ưu hóa luồng GT, giảm tối đa tình trạng chờ của các PTTGGT, góp phần cân bằng trong việc điều chỉnh lưu lượng GT trên một khu vực rộng lớn hơn của mạng lưới đường bộ.

Trong bài báo, chúng tôi giới thiệu mô hình đa tác tử điều khiển tín hiệu đèn GT thông minh dựa trên lý thuyết lôgic mờ. Mô hình này có khả năng đưa ra những quyết định thời gian đóng mở tín hiệu đèn một cách tự động theo thời gian thực dựa trên số lượng các PTTGGT thực tế. Bài báo có cấu trúc như sau: đầu tiên là phần đặt vấn đề, tiếp theo là phần tổng quan về các mô hình điều khiển tín hiệu đèn GT thông minh trên thế giới, phần ba là đề xuất mô hình đa tác tử điều khiển tín hiệu đèn GT thông minh. Phần tiếp theo là cài đặt thử nghiệm và đánh giá mô hình. Phần cuối cùng sẽ là thảo luận và kết luận.

II. TỔNG QUAN CÁC MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN TÍN HIỆU ĐÈN GIAO THÔNG THÔNG MINH

Xây dựng hệ thống điều khiển tín hiệu đèn GT là một trong những vấn đề đáng quan tâm trong việc xây dựng hệ thống GT thông minh, giảm thiểu việc tắc nghẽn GT ở các thành phố lớn. Các phương pháp thường được các nhà khoa học nghiên cứu và ứng dụng, đó là giải thuật di truyền [1], [2], lôgic mờ [3], [4] và gần đây nhất là hệ thống đa tác tử [5], [6], [7], [8].

2.1. Điều khiển giao thông sử dụng thuật toán di truyền

Thuật toán di truyền dựa trên sự mô phỏng quá trình tồn tại của các cá thể trong quần thể. Các cá thể tốt sẽ tồn tại thông qua quá trình chọn lọc của tự nhiên và quần thể tồn tại sẽ tiến hóa dần về lời giải tối ưu. Thông thường các lời giải được mã hóa bằng các chuỗi gen. Giá trị của các gen có trong chuỗi được lấy từ bảng các ký tự được định nghĩa

trước [2]. Tối ưu hóa thời gian chờ của các phương tiện trong các tuyến đường tại các nút GT sử dụng thuật toán di truyền được thực hiện theo những bước sau:

Bước 1: Khởi tạo quần thể

Đầu tiên thuật toán di truyền sẽ khởi tạo quần thể (thời gian đèn xanh mở rộng) bằng cách chọn ra một tập hợp những cá thể bằng hàm sinh ngẫu nhiên bên trong một khoảng được xác định trước từ 0s đến 5s hoặc một khoảng khác tùy thuộc vào mật độ GT tại ngã tư đang xét [1].

Bước 2: Kiểm tra độ thích nghi của cá thể

Tiếp theo là kiểm tra độ thích nghi của từng cá thể trong quần thể thông qua hàm thích nghi. Trong [2], hàm thích nghi được xác định là: $f = P.I.1 + P.I.2 + P.I.3 + P.I.4$. Trong đó, chỉ số hiệu xuất (P.I.i) cho mỗi tuyến đường phụ thuộc vào trọng số của mỗi tuyến đường (khả năng chứa bao nhiêu phương tiện có thể có của mỗi tuyến đường cũng như độ ưu tiên của tuyến đường đó) và tổng số lượng phương tiện đang hiện hành trên tuyến đường đó, P.I.i được tính dựa trên công thức: $(P.I.i) = Wi * Si / GTi$ $i=1, 2, 3, 4$. Wi là trọng số được phân bổ cho mỗi tuyến đường i tương ứng, Si là số lượng phương tiện trên mỗi tuyến đường i tương ứng, GTi là tổng số lượng thời gian mở rộng tối thiểu ($Gmin$) và thời gian mở rộng đèn xanh (g). Thời gian đèn xanh mở rộng (g) như trình bày ở trên sẽ được giới hạn từ 0 giây đến 5 giây phụ thuộc vào yêu cầu thực tế, tương tự $Gmin = 15$ giây (thời gian được thiết lập trước cho mỗi tuyến đường) và nó cũng phụ thuộc vào mật độ GT thực tế của ngã tư đang xét. $GTi = Gmin + g$ là thời gian được phân bổ cho mỗi tuyến đường [2].

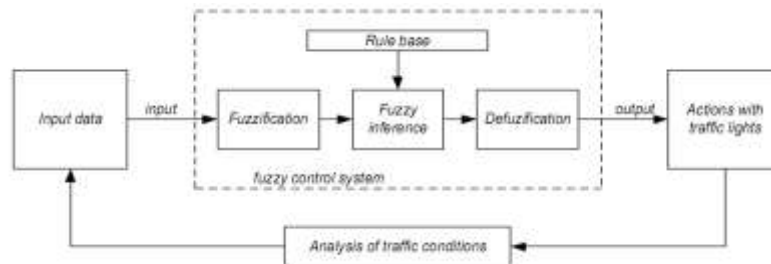
Bước 3: Thực hiện tiến hóa

Cuối cùng sẽ kiểm tra tiêu chí kết thúc của chương trình, tiêu chí kết thúc có thể là chỉ số dòng bão hòa (dòng bão hòa là số lượng xe tối thiểu trên các tuyến đường không thể tối ưu thêm được nữa sẽ được tính toán dựa trên thực tế của bài toán). Nếu tiêu chí kết thúc trên đạt được yêu cầu về chỉ số dòng bão hòa thì sẽ lấy giải pháp hiện tại là cá thể có thời gian mở rộng đèn xanh tốt nhất. Ngược lại, theo [1] thì nếu tiêu chí kết thúc không đạt được, từ những cá thể đã được chọn ở bước trước sẽ tạo ra những giống phối mới bằng cách lai ghép và tái tổ hợp.

Kết quả nhận được từ thuật toán di truyền là thời gian đèn xanh mở rộng cho các tuyến đường ở nút giao cắt, những thời gian đèn xanh mở rộng này sẽ được cộng vào thời gian đèn xanh đã được thiết lập trước.

2.2. Điều khiển tín hiệu đèn GT sử dụng logic mờ để mở rộng thời gian đèn xanh

Cấu trúc chung của hệ thống điều khiển GT dựa trên logic mờ ở một ngã tư cô lập được mô tả trong Hình 1 [4]. Dữ liệu được truyền từ những bộ cảm biến là phần tử đầu vào của hệ thống điều khiển logic mờ bao gồm số lượng phương tiện đến đèn xanh và số lượng phương tiện chờ ở đèn đỏ. Dữ liệu đầu ra của hệ thống điều khiển logic mờ là thời gian mở rộng cho đèn xanh và sẽ được truyền đến đèn GT.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống điều khiển logic mờ [4]

Dữ liệu đầu vào sẽ được mô hình hóa thành những đối tượng fuzzification (giá trị đánh giá mức độ) thông qua những hàm quan hệ đã được xây dựng như Hình 2 [3].

Arrival		Oueu		Extensio	
Almost	AN	Verv Small	VS	Zero	Z
Few	F	Small	S	Short	S
Many	MY	Medium	M	Medium	M
Too Manv	TMY	Large	L	Longer	L

Hình 2. Bảng giá trị mức độ của các phần tử logic mờ

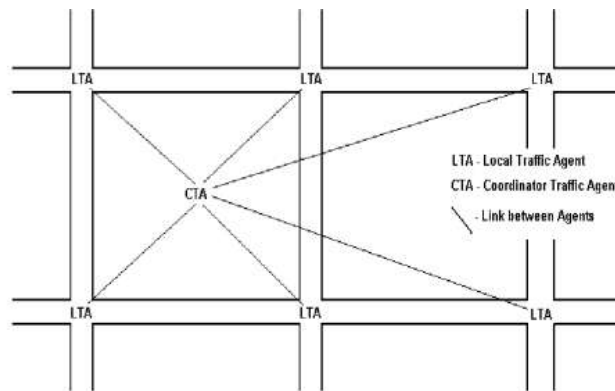
Để quyết định thời gian đèn xanh hiện tại có nên mở rộng hay không hệ thống sử dụng tập luật về những trường hợp GT khác nhau và những hàm quan hệ đã xây dựng. Cơ chế suy diễn trong tập luật logic mờ tương tự như các quá trình lập luận của con người. Ví dụ như người cảnh sát GT tại ngã tư sẽ quyết định thời gian đèn xanh ở hướng đến dài hơn nếu như số lượng phương tiện ở hướng đến nhiều và số lượng phương tiện ở hướng chờ ít hoặc ở mức trung bình [4].

Hệ thống điều khiển fuzzy có tính linh hoạt cao chẳng hạn những tập luật logic mờ có thể thay đổi cũng như thay đổi các hàm quan hệ về số lượng phương tiện ở hướng đến, số lượng phương tiện ở hướng chờ và thời gian mở rộng đèn xanh để có thể đáp ứng nhu cầu thay đổi thực tế của hệ thống GT đang xét.

2.3. Điều khiển tín hiệu đèn GT sử dụng hệ thống đa tác tử

Tiếp cận đa tác tử trong việc điều khiển tín hiệu đèn GT ngày càng được ưa chuộng [5], [6], [7]. Hầu hết các mô hình đều tập trung vào việc phân tích mục tiêu, các nhiệm vụ của các tác tử và cơ chế giao tiếp của chúng. Theo hướng tiếp cận này, hệ thống bao gồm một tác tử trung tâm và các tác tử được bố trí phân tán tại các trụ đèn. Mỗi tác tử chịu trách nhiệm cho một hoạt động nhất định. Ví dụ tác tử đèn GT sẽ phân tích số lượng GT hiện tại theo nút của nó và gửi số liệu đến tác tử trung tâm, tác tử trung tâm sẽ xử lý và gửi kết quả sau khi xử lý về tác tử đèn GT. Tại tác tử trung tâm sẽ sử dụng một thuật toán thông minh để tìm ra giải pháp tối ưu về điều khiển tín hiệu đèn GT.

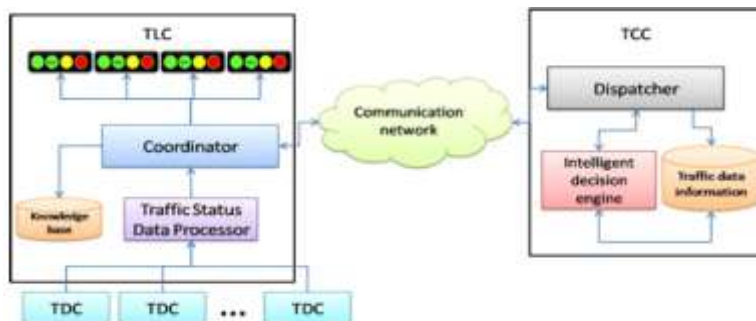
Mô hình đa tác tử của Jonh France [7] đề xuất một giải pháp là sử dụng hệ thống đa tác tử tại các ngã tư và một hệ thống đa tác tử trung gian để làm việc với một nhóm các tác tử ngã tư này. Trong mô hình này, hệ thống GT sẽ chia nhỏ ra thành những thành phần cơ bản với một tác tử là mỗi ngã tư sẽ có một tác tử tương ứng được gọi là Local Traffic Agents (LTA) và một tác tử trung gian tương ứng là Coordinator Traffic Agent (CTA).



Hình 3. Kiến trúc và thành phần bên trong của bộ điều khiển giao thông [7]

Hình 3 minh họa cho mô hình đa tác tử được đề xuất ở trên. Trong đó LTA là thành phần nền tảng của hệ thống đa tác tử này, nó chịu trách nhiệm cung cấp một khuôn mẫu tín hiệu đèn GT thích hợp để được sử dụng cho mỗi ngã tư. Bên trong mỗi LTA sẽ có một thuật toán để thông dịch những dữ liệu cảm biến cục bộ để tính toán một khuôn mẫu đèn GT hợp lý. Các khuôn mẫu này sẽ biểu diễn chu kỳ đèn GT cục bộ một cách tối ưu. Trong khi đó một CTA sẽ chịu trách nhiệm giám sát toàn bộ khu vực của nó còn LTA chỉ tập trung trong việc tổ chức tín hiệu đèn ở cục bộ của các ngã tư. Khi LTA phát ra một tín hiệu đến CTA có sự tăng lên tắc nghẽn mà sẽ ảnh hưởng đến những tác tử LTA còn lại trong nhóm của nó, CTA sẽ có trách nhiệm thông báo cho các LTA tương ứng về sự tắc nghẽn này và đưa cho chúng những phản hồi thích hợp. CTA cung cấp mối liên lạc giữa chính nó và các LTA trong hệ thống và LTA sẽ lưu trữ danh sách những ngã tư trong cùng một nhóm các ngã tư tương ứng. Tuy nhiên, khả năng tính toán của CTA là hạn chế và khi một hệ thống tuyến đường lớn hơn sẽ yêu cầu sử dụng nhiều CTA để xử lý tất cả các LTA trong hệ thống, hệ thống sẽ được chia ra thành từng vùng và được quản lý bởi CTA đơn với một tác tử có cấp độ cao nhất là Global Traffic Agent (GTA) để liên kết các LTA lại với nhau.

Trong khi đó mô hình đa tác tử của A. Guerrero-Ibáñez [5] tập trung vào xây dựng mô hình đa tác tử cho đơn ngã tư, mô hình này bao gồm 3 thành phần chính: Traffic Light Controller (TLC), Traffic Control Center (TCC) và Traffic Data Collectors (TDC) được biểu diễn trong Hình 4. TLC là thành phần điều khiển những tín hiệu đèn GT và được đặt tại các ngã tư, mỗi tín hiệu đèn GT sẽ có một TLC tương ứng. Mỗi tác tử TLC sẽ có một tác tử TDC để lưu trữ dữ liệu về trạng thái các đèn GT của tất cả pha đèn. Cuối cùng, tại tác tử trung tâm là TCC khi nhận được những thông tin về số lượng phương tiện đang lưu thông tại các tuyến đường nó sẽ phân tích những dữ liệu sau đó sẽ sử dụng những thuật toán về trí tuệ nhân tạo đã được cài đặt sẵn ở đó để tính toán những chu kỳ đèn hợp lý theo thời gian thực [5].



Hình 4. Kiến trúc và thành phần bên trong của bộ điều khiển giao thông [5]

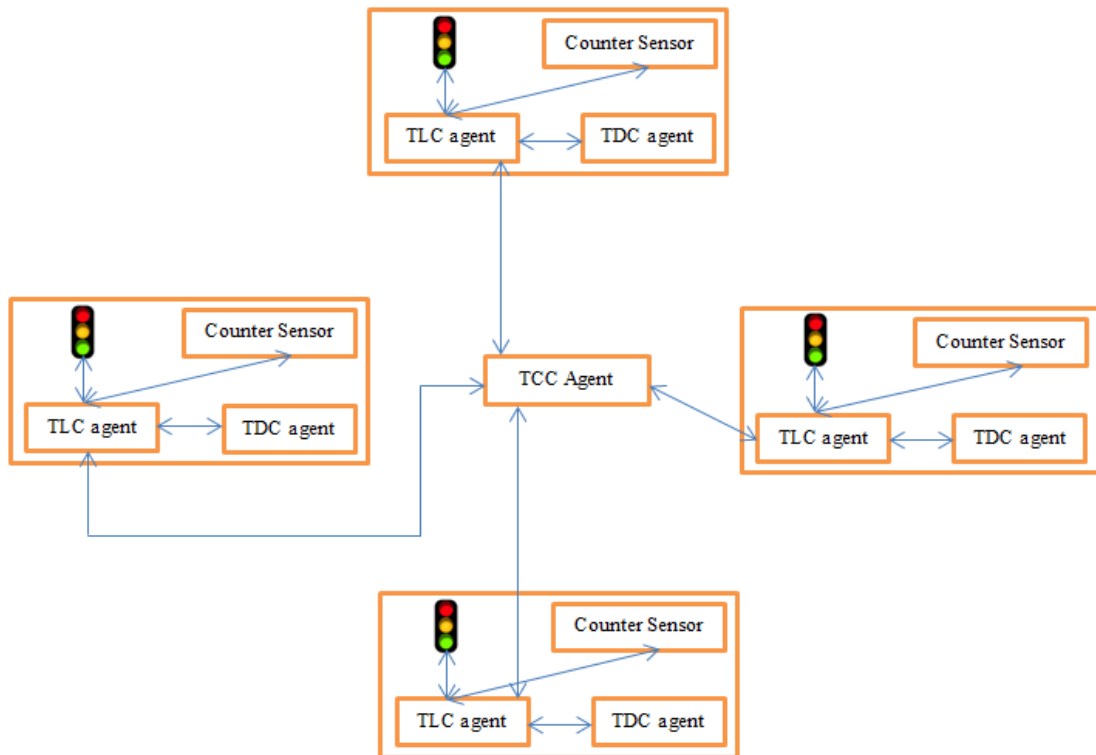
III. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH ĐA TÁC TỬ ĐIỀU KHIỂN TÍN HIỆU ĐÈN GT THÔNG MINH

Với những ưu thế về cấu trúc cũng như về chức năng của hệ thống đa tác tử, bài báo xây dựng mô hình đa tác tử điều khiển tín hiệu đèn GT sao cho thời gian chờ tín hiệu xanh của các PTTGGT là nhỏ nhất. Mô hình này có cấu trúc tương đồng với [5]. Tuy nhiên, điểm mới của mô hình đề xuất là áp dụng thuật toán logic mờ vào trong thành phần IDE (Intelligent decision engine) của điều khiển trung tâm TCC. Trong mô hình, ngoài sự tương tác giữa các tác tử đèn TLC với tác tử trung tâm của nút giao cắt TCC (đóng vai trò điều phối chung) thì bài báo này nhấn mạnh xây dựng cơ chế tương tác giữa các tác tử TLC cả giữa TLC và TCC để đảm bảo thông tin luôn được thông suốt trong trường hợp đường truyền có sự cố.

3.1. Cấu trúc mô hình đa tác tử

Mô hình này có cấu trúc như Hình 5. Giả sử rằng nút GT này là một ngã tư thì hệ thống sẽ cấu thành gồm: 1 tác tử trung tâm TCC; 4 tác tử đèn giao thông TLC, TDC và bộ đếm số lượng PTTGGT tương ứng. Bộ đếm sẽ là bộ camera cảm biến để thu thập số liệu về số lượng phương tiện theo thời gian thực, sau đó nó sẽ gửi số liệu về số lượng PTTGGT đến các tác tử đèn GT trung tâm TCC. Thông tin quan trọng mà tác tử TLC nhận được đó là chu kỳ của pha đèn xanh hiện tại mà tác tử trung tâm TCC gửi về. Sau khi TLC nhận thông tin từ TCC sẽ tương tác với đèn GT để cập nhật trạng thái tín hiệu đèn. Tác tử TCC sẽ sử dụng số liệu về số lượng phương tiện tại các tuyến đường nhận được từ TLC và sử dụng thuật toán logic mờ để xác định chu kỳ đèn xanh hợp lý cho các đèn tín hiệu GT.

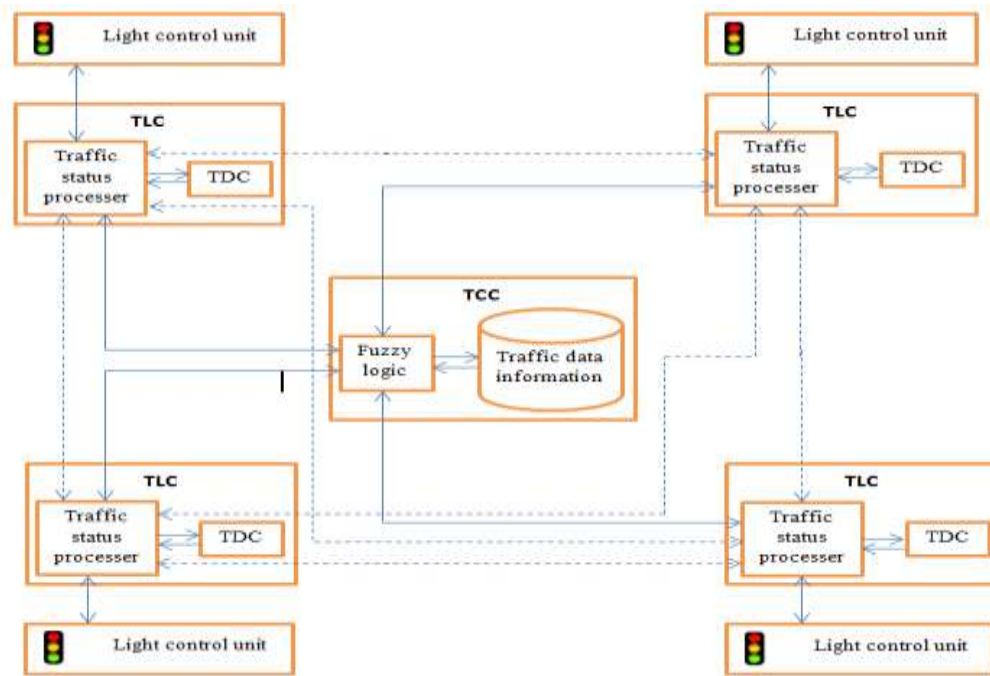
3.2. Mô hình tương tác giữa các tác tử



Hình 5. Cấu trúc mô hình đa tác tử

Hình 5 biểu diễn sự tương tác giữa các tác tử với nhau. Quá trình truyền thông điệp giữa tác tử TLC và TCC được biểu diễn bởi những đường mũi tên nét liền. Đường mũi tên nét đứt biểu diễn cho quá trình truyền thông điệp giữa những tác tử TLC với nhau để giúp đồng bộ hóa quá trình nhận thông điệp từ TCC và thay đổi trạng thái tín hiệu đèn GT. Khi một tác tử TLC nhận được thông điệp thay đổi trạng thái tín hiệu đèn GT, nó sẽ gửi thông điệp đến các tác tử TLC còn lại trong hệ thống bao gồm trạng thái đèn, chu kỳ đèn và pha đèn thứ mấy. Các tác tử TLC nhận được thông điệp từ tác tử TLC khác nó sẽ gửi thông điệp phản hồi với thông tin là đã đồng bộ hóa tiến trình. Khi tất cả các tác tử TLC nhận được thông điệp phản hồi của nhau, tiến trình đồng bộ hóa sẽ kết thúc và các TLC sẽ cập nhật trạng thái tín hiệu đèn GT hiện tại của nó theo thông tin nhận được từ TCC.

Khi các tác tử TLC kết thúc quá trình cập nhật trạng thái tín hiệu đèn GT, nó sẽ lưu thông tin trạng thái tín hiệu đèn GT vào trong TDC bao gồm trạng thái, chu kỳ đèn và tiến trình thứ mấy. Ngược lại khi tác tử TLC mất kết nối đến TCC, nó sẽ gửi đi thông điệp cho các TLC của hệ thống để thông báo tình trạng mất kết nối. Khi các TLC nhận được thông báo có một TLC mất kết nối đến TCC, nó sẽ ngừng ngay tiến trình đồng bộ hóa và lấy thông tin dự phòng của tiến trình trước nó đã được lưu trữ trong TDC để cập nhật trạng thái cho đèn GT. Quá trình truyền thông điệp này được mô tả trong Hình 6.



Hình 6. Mô hình truyền thông điệp giữa các tác tử

3.3. Các tác tử trong hệ thống

Hệ thống gồm có 3 loại tác tử: TLC agent, TDC agent và TCC agent.

a. Tác tử đèn giao thông (TLC)

Đèn GT (TLC)	
Thuộc tính	Mô tả thuộc tính
trafficLightPosition	Vị trí của đèn GT ở hướng nào trong ngã tư
currentState	Trạng thái hiện tại của đèn GT
currentPhase	Tiến trình hiện tại của tác tử đèn GT
prevPhase	Tiến trình trước đó của tác tử đèn GT
nextState	Trạng thái dự kiến của đèn GT
lifeCycle	Chu kỳ đèn GT
numberOfVehicle	Số lượng phương tiện GT hiện tại ở đèn GT
TCCAddress	Địa chỉ mạng của đèn GT trung tâm
localAddress	Địa chỉ mạng cục bộ của đèn GT
otherTLCAddress	Địa chỉ mạng của các tác tử đèn GT khác

b. Tác tử quản lý dữ liệu (TDC)

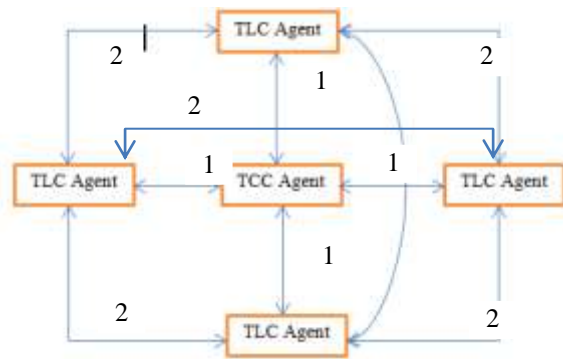
Quản lý dữ liệu (TDC)	
Thuộc tính	Mô tả thuộc tính
numberOfWaitingVehicle	Số lượng xe đang chờ
currentTime	Thời điểm ghi lại dữ liệu
currentPhase	Tiến trình hiện tại lúc ghi dữ liệu
trafficLightStatus	Trạng thái hiện tại của đèn ở thời điểm ghi dữ liệu
currentLifeCycle	Chu kỳ của đèn GT tại thời điểm ghi dữ liệu
averageVehicleWaiting	Trung bình số lượng phương tiện chờ tại ngã tư

c. Tác tử đèn giao thông trung tâm (TCC)

Đèn GT trung tâm (TCC)	
Thuộc tính	Mô tả thuộc tính
listStatus	Tập hợp tất cả trạng thái các đèn GT
numberOfVehicle	Danh sách số lượng phương tiện GT theo các hướng
minLifeCycle	Thời gian tối thiểu của chu kỳ đèn
maxLifeCycle	Thời gian tối đa của chu kỳ đèn
trafficLightAddress	Danh sách địa chỉ đèn GT ở các hướng
numberOfWaitingVehicle	Danh sách số lượng xe đang chờ ở ngã tư

3.4. Các pha hoạt động của tác tử đèn giao thông

Các tác tử này sẽ làm việc với nhau thông qua 2 pha như sau:



Hình 7. Mô hình các pha hoạt động của tác tử đèn giao thông thông minh

Pha thứ nhất: Các tác tử TLC sẽ trao đổi thông tin với TCC, ở pha này tác tử TCC sẽ sử dụng thuật toán logic mờ để tìm ra chu kỳ thích hợp cho các tín hiệu đèn GT.

Pha thứ hai: Các tác tử TLC sẽ trao đổi thông tin với nhau để đồng bộ hóa thông tin nhận được từ TCC cũng như khi một trong các TLC không liên lạc được với TCC để lấy lại thông tin trạng thái các đèn GT trước đó.

IV. MÔ HÌNH RA QUYẾT ĐỊNH TÍN HIỆU ĐÈN GIAO THÔNG THÔNG MINH

4.1. Sử dụng thuật toán logic mờ để thay đổi khoảng thời gian cho tín hiệu đèn

Tác tử trung tâm TCC sẽ sử dụng thuật toán logic mờ để kiểm soát thời gian của đèn xanh theo điều kiện GT thực tế. Logic mờ sẽ sử dụng số lượng PTTGGT tham gia vào ngã tư để đưa ra quyết định mở rộng thời gian hay kết thúc đèn xanh hiện tại dựa trên số lượng phương tiện trung bình đang chờ được phục vụ bởi đèn xanh hiện tại với số lượng phương tiện trung bình đang chờ đợi tại đèn đỏ sẽ chuyển sang đèn xanh ở giai đoạn tiếp theo và tỉ lệ trung bình xe đến đèn xanh [3].

Logic mờ sẽ sử dụng một tập luật kiểm tra ra quyết định mở rộng hay kết thúc đèn xanh hiện tại trước khi chu kỳ đèn xanh đó kết thúc một khoảng thời gian t (2s đến 5s) [6]. Nếu quyết định mở rộng thời gian đèn xanh nó sẽ tăng chu kỳ đèn xanh đó lên một đơn vị thời gian và không kiểm tra nữa, ngược lại nó sẽ đợi cho đến hết chu kỳ hiện tại hoặc dừng ngay lập tức để chuyển đến pha đèn tiếp theo.

Mô hình hệ thống điều khiển đèn GT này được thực hiện theo những bước sau:

Bước 1: Hệ thống nhận những thông tin cần thiết từ các bộ cảm biến tại nút GT.

Bước 2: Xác định xem nếu pha đèn xanh hiện tại nên mở rộng hay kết thúc (sử dụng tập luật của logic mờ).

- Nếu pha đèn xanh hiện tại nên mở rộng thì chuyển lại bước 1 và kèm theo thời gian cần thiết mở rộng tín hiệu đèn GT
- Nếu pha đèn xanh hiện tại nên kết thúc thì chuyển đến bước 3.

Bước 3: Xác định pha đèn xanh tiếp theo và quay lại bước 1.

4.2. Xây dựng hàm quan hệ cho dữ liệu vào và ra

Thuật toán bao gồm 5 hàm quan hệ cho mỗi phần tử fuzzy vào và ra của hệ thống. Bảng 1 sẽ trình bày về những phần tử fuzzy Arrival (đại diện cho những phương tiện đến đèn xanh), fuzzy Queue (đại diện cho những phương tiện đang chờ tại đèn đỏ), fuzzy Extension (đại diện cho thời gian mở rộng pha đèn xanh hiện tại).

Bảng 1. Những phần tử của fuzzy Arrival, fuzzy Queue, fuzzy Extension

Arrival		Queue		Extension	
Rất ít	AN (Almost)	Rất nhỏ	VS (Very Small)	Không	Z (Zero)
Ít	F (Few)	Nhỏ	S (Small)	Ngắn	S (Short)
Bình thường	N (Normal)	Bình thường	N (Normal)	Trung bình	M (Medium)
Nhiều	MY (Many)	Lớn	L (Large)	Dài	LO (Long)
Rất nhiều	TMY (Too Many)	Rất lớn	TL (Too Large)	Rất Dài	TLO (Too Long)

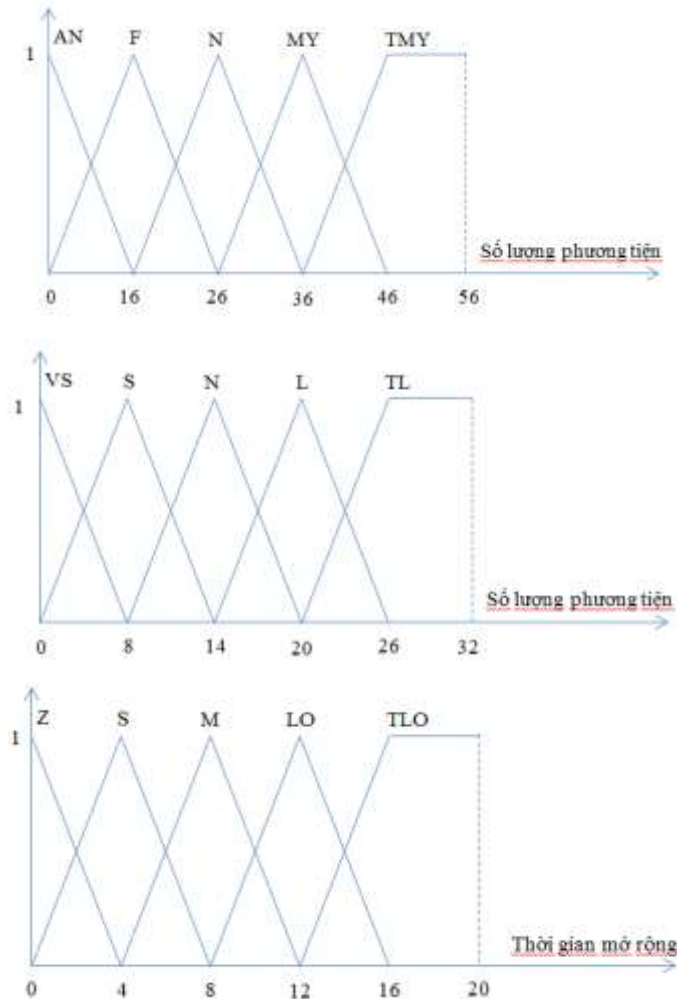
Trong đó, với những phần tử fuzzy Arrival có 5 phần tử sau:

- Rất ít chỉ ra rằng có rất ít phương tiện đang đến đèn xanh.

- Ít chỉ ra rằng có ít phương tiện đang đến đèn xanh.
- Bình thường chỉ ra rằng có số lượng phương tiện đạt mức trung bình đến đèn xanh.
- Nhiều cho thấy có nhiều phương tiện đến đèn xanh.
- Cuối cùng là rất nhiều phương tiện GT đến đèn xanh.

Tương ứng với phần tử fuzzy Queue sẽ có những giá trị rất nhỏ, nhỏ, bình thường, lớn, rất lớn số lượng xe đang chờ tại đèn đỏ hiện tại. Và tương ứng với phần tử fuzzy Extension sẽ có không, ngắn, trung bình, dài, rất dài thời gian sẽ được mở rộng cho pha đèn xanh hiện tại.

Những phần tử trên chỉ là những đại diện chỉ ra mức độ của số lượng các PTTGGT hiện tại tại các đèn GT chứ không phải là một con số chính xác về số lượng PTTGGT. Mỗi phần tử chỉ mức độ này sẽ có một khoảng tương ứng với nó. Đồ thị biểu diễn hàm quan hệ của các phần tử fuzzy được minh họa ở Hình 8.



Hình 8. Dữ liệu đầu ra cho phần tử fuzzy Arrival, Queue, Extension

Trục x của đồ thị biểu diễn số lượng phương tiện đến đèn xanh hiện tại đối với phần tử fuzzy Arrival, số lượng phương tiện đang chờ tại đèn đỏ hiện tại đối với phần tử fuzzy Queue và thời gian cần thiết để mở rộng thời gian pha đèn xanh hiện tại. Ví dụ AN sẽ có giá trị trong khoảng từ 0 phương tiện đến 16 phương tiện. Trục y biểu diễn mức độ quan hệ của các phần tử fuzzy Arrival, fuzzy Queue, fuzzy Extension, nó có giá trị từ 0 đến 1. Ví dụ nếu giá trị của mức độ hàm quan hệ được thiết lập là 1 thì ta có phần tử TLO của fuzzy Extension sẽ có giá trị là 20s.

4.2. Xây dựng tập luật logic mờ

Sức mạnh của logic mờ là khả năng sử dụng những lập luận mang tính xấp xỉ trong tập luật chẳng hạn như lớn, ít, trung bình, bình thường, dài,... Trong khi phát triển của bộ điều khiển logic mờ, chúng tôi đã sử dụng hầu hết các quy tắc tương tự và một số ví dụ được đưa ra dưới đây:

*Nếu có quá nhiều phương tiện (TMY) ở hướng đến (đèn xanh)
 Và có một số lượng nhỏ phương tiện (S) ở hướng chờ (đèn đỏ)
 Thì mở rộng đèn xanh dài hơn (LO)*

Những tập luật trên có thể viết tắt lại như sau:

IF Arrival is TMY AND Queue is VS THEN Extension is L
IF Arrival is F AND Queue is VS THEN Extension is S
IF Arrival is AN AND Queue is VS THEN Extension is Z

Chúng tôi đề xuất 5 giá trị đầu vào cho phần tử Arrival và 5 giá trị đầu vào cho phần tử Queue tức là sẽ có một ma trận kích thước là 5 và tập luật này sẽ có 25 phần tử để biểu diễn cho mỗi quan hệ của Arrival, Queue, Extension. Bảng 2 sẽ biểu diễn ma trận của tập luật trên.

Bảng 2. Ma trận biểu diễn tập luật logic mờ

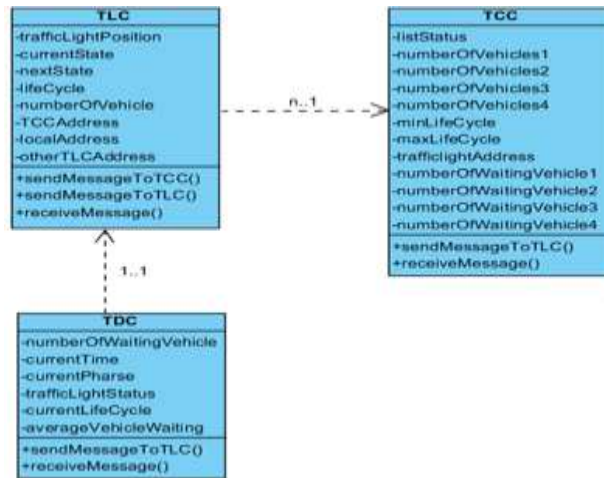
QA	AN	F	N	MY	TMY
VS	Z	S	M	L	TL
S	Z	S	M	L	L
N	Z	Z	S	M	L
L	Z	Z	Z	S	M
TL	Z	Z	Z	Z	S

V. CÀI ĐẶT VÀ ĐÁNH GIÁ MÔ HÌNH TRÊN NỀN TẢNG MÔ PHỎNG

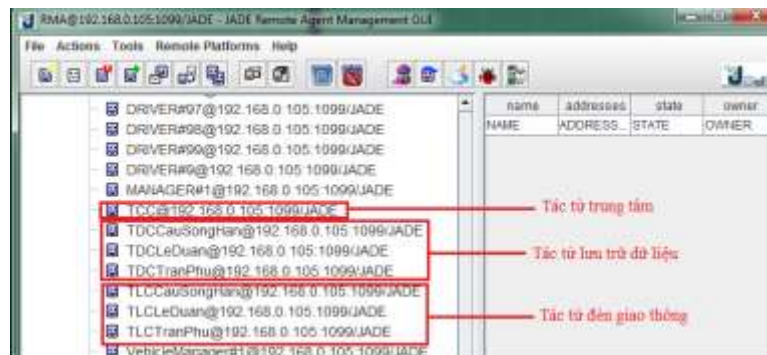
5.1. Cài đặt mô hình đa tác tử bằng nền tảng Jade

Bài báo chọn khu vực nghiên cứu là nút GT ngữ tư Lê Duẩn – Trần Phú – cầu Sông Hàn, trong đó tuyến đường Trần Phú là một chiều. Đây là một trong những điểm nóng về tắc nghẽn xe của thành phố Đà Nẵng. Nút GT này sẽ có 3 đèn GT ở 3 hướng là Lê Duẩn, Trần Phú và cầu Sông Hàn. Như vậy, sẽ có 3 tác tử đèn GT ở 3 hướng, 3 tác tử lưu trữ dữ liệu cho 3 tác tử đèn GT, 1 tác tử xử lý trung tâm và tác tử PTTGGT. Hình 9 biểu diễn sơ đồ lớp các tác tử trong hệ thống được cài đặt bằng nền tảng Jade [9]. Jade là một nền tảng hỗ trợ lập trình hướng tác tử. Chúng thiết lập sẵn các giao thức tương tác nền cho các tác tử. Jade cho phép lập trình phân tán cho các tác tử và có thể dễ dàng tạo các hệ thống nhúng nếu tác tử này thực sự được cài đặt lên các thiết bị phân tán [9].

Trong hệ thống có 3 tác tử chính là tác tử đèn GT, tác tử xử lý dữ liệu TDC của mỗi tác tử TLC, tác tử xử lý trung tâm TCC và cuối cùng là tác tử phương tiện GT. Mỗi tác tử sẽ có những thuộc tính và phương thức của chính nó thể hiện ở sơ đồ lớp Hình 9.



Hình 9. Sơ đồ lớp các tác tử



Hình 10. Cài đặt tác tử của khu vực nghiên cứu ở trong Jade

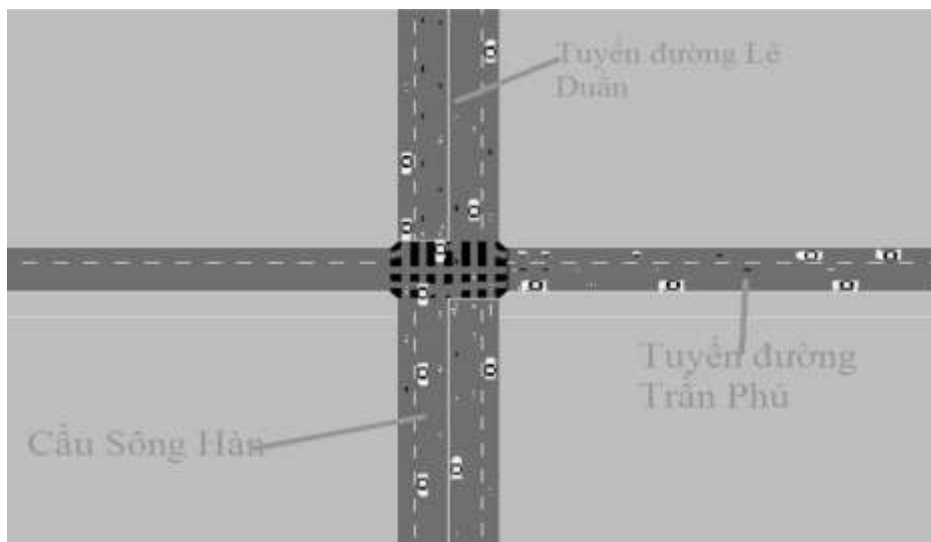
Hình 10 biểu diễn các tác tử trong hệ thống được cài đặt vào Jade. Ví dụ TLCLeDuan là tác tử đèn GT ở hướng Lê Duẩn, tương ứng với nó sẽ có tác tử TDCLeDuan là tác tử lưu trữ dữ liệu của nó.

5.2. Tích hợp tác tử Jade vào môi trường mô phỏng giao thông SUMO

Để đánh giá mô hình, chúng tôi sẽ sử dụng hệ thống SUMO (Simulation of Urban Mobility) [8]. Đây là một hệ thống mã nguồn mở, cho phép thiết lập cơ sở hạ tầng GT cũng như cấu hình mô phỏng bằng đồ họa luồng GT nhằm kiểm tra cho các thuật toán và những mô hình nghiên cứu GT. Ngoài ra SUMO cung cấp API gọi là TraCI [8] để có thể giao tiếp với bên ngoài hệ thống. TraCI sử dụng giao thức TCP dựa trên kiến trúc Client-Server để kết nối với bên ngoài trong quá trình mô phỏng.

Cơ sở hạ tầng giao thông cũng như thiết lập tham số mô phỏng đều được thiết kế trong SUMO. Cơ sở hạ tầng ở đây chính là ngã tư Lê Duẩn – Trần Phú – cầu Sông Hàn tại TP Đà Nẵng với 3 đèn GT ở 3 hướng là Lê Duẩn, Trần Phú và cầu Sông Hàn.

Bằng phương pháp đếm thủ công, trong khoảng thời gian 30 giây vào giờ cao điểm là 17h00 ngày làm việc, lưu lượng xe tại nút giao cắt được biểu diễn trong Bảng 3. Với số liệu thực tế, hệ thống mô phỏng trong SUMO đã được xây dựng thể hiện ở Hình 11. Số liệu này cung cấp các xác suất sự xuất hiện xe 2 bánh hay 4 bánh, xác suất các hướng rẽ của các xe để mô phỏng đánh giá mô hình đề xuất ở phần 3.

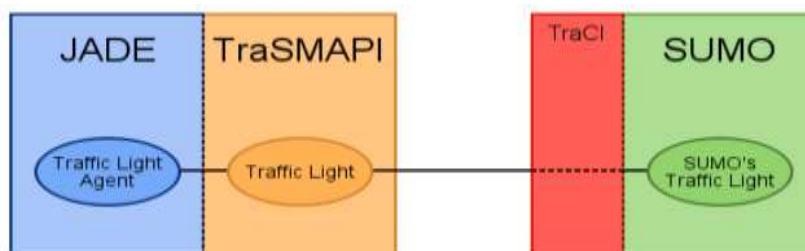


Hình 11. Môi trường mô phỏng dựa trên SUMO

Bảng 3. Số lượng và tỉ lệ các phương tiện lưu thông các hướng

Hướng xe đi	Số xe 4 bánh	Tỉ lệ xe 4 bánh	Số xe 2 bánh	Tỉ lệ xe 2 bánh
Từ Lê Duẩn đi về hướng cầu Sông Hàn	10	24%	68	24.5%
Từ cầu Sông Hàn đi về hướng Lê Duẩn	8	19.7%	86	31%
Từ cầu Sông Hàn đi về hướng Trần Phú	3	7.5%	16	5.7%
Trần Phú đi thẳng	9	22%	61	22%
Trần Phú đi về hướng cầu Sông Hàn	11	26.8	46	16.8%
Tổng số xe	41	100%	277	100%

Muốn tích hợp những tác tử JADE vào trong SMO, bài báo sử dụng traSMAPI (Traffic Simulation Manager Application Programming Interface) [10]. TraSMAPI cung cấp một API giúp cho hệ thống bên ngoài có thể truy xuất vào SUMO theo thời gian thực (xem Hình 12).



Hình 12. Mô hình ánh xạ tác tử Traffic Light từ Jade vào trong SUMO [10]

5.3. Một số kịch bản mô phỏng để đánh giá mô hình

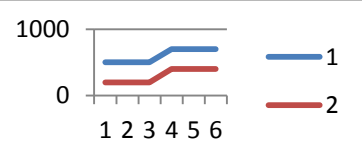
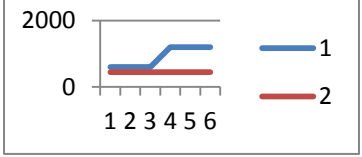
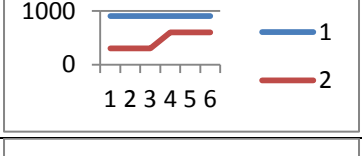
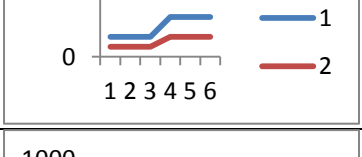
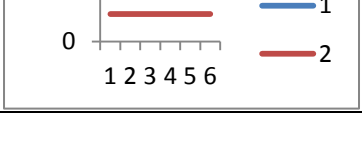
Để thử nghiệm mô hình đa tác tử điều khiển tín hiệu đèn GT thông minh đã được cài đặt trong Jade, bài báo xây dựng 10 kịch bản, với mỗi kịch bản kéo dài trong 60 phút với số lượng các PTTGGT thay đổi 6 lần, mỗi lần kéo dài 10 phút để đánh giá tính hiệu quả của việc thay đổi linh hoạt thời gian tín hiệu đèn của mô hình. Trong 7 kịch bản này, gọi tuyến đường Lê Duẩn và cầu Sông Hàn là (1), tuyến đường Trần Phú là (2), 7 kịch bản được mô tả như sau:

- TH 1: Với lưu lượng giao thông vừa phải, số phương tiện ổn định trong vòng 60 phút cả hai tuyến (1) và (2).
- TH 2, TH 3: Với lưu lượng giao thông vừa phải, số phương tiện ổn định trong vòng 60 phút ở tuyến (1). Tuyến (2) có sự thay đổi nhẹ số lượng phương tiện ở các khoảng thời gian khác nhau.
- TH 4, TH 5: Với lưu lượng giao thông vừa phải, số phương tiện thay đổi nhẹ ở tuyến (1) trong các khoảng thời gian khác nhau. Số phương tiện ổn định trong vòng 60 phút ở tuyến (2).
- TH 6: Với lưu lượng giao thông vừa phải, cả hai tuyến đều có số lượng phương tiện thay đổi ở các khoảng thời gian khác nhau.
- TH 7: Với lưu lượng giao thông cao, số lượng phương tiện có nhiều thay đổi ở các khoảng thời gian khác nhau ở tuyến (1). Số phương tiện ổn định trong vòng 60 phút ở tuyến (2).
- TH 8: Với lưu lượng giao thông cao, số lượng phương tiện có nhiều thay đổi ở các khoảng thời gian khác nhau ở tuyến (2). Số phương tiện ổn định trong vòng 60 phút ở tuyến (1).
- TH 9: Với lưu lượng giao thông cao, số lượng phương tiện ở 2 tuyến đường có nhiều sự thay đổi ở những khoảng thời gian khác nhau.
- TH 10: Với lưu lượng cao, số lượng phương tiện ở 2 tuyến đường ổn định trong khoảng thời gian 60 phút.

Ở 6 trường hợp đầu tổng số lượng phương tiện ở 2 tuyến đường trong vòng 60 phút là không thay đổi là 5100 phương tiện (tuyến 1 có 3600 phương tiện và tuyến 2 có 1800 phương tiện) và 4 trường hợp tiếp theo tổng số lượng phương tiện ở 2 tuyến đường cũng không thay đổi là 8100 phương tiện (tuyến 1 có 5400 phương tiện và tuyến 2 có 2700 phương tiện).

Bảng 4. Số lượng phương tiện trong 10 kịch bản mô phỏng

Kịch bản	Tuyến đường Lê Duẩn và cầu Sông Hàn (1)	Tuyến đường Trần Phú (2)	Biểu đồ biến thiên của 2 tuyến đường
1	600 – 600 – 600 – 600 – 600 – 600 (600 chiếc cho mỗi 10 phút)	300 – 300 – 300 – 300 – 300 – 300 (300 chiếc cho mỗi 10 phút)	
2	600 – 600 – 600 – 600 – 600 – 600 (600 chiếc cho mỗi 10 phút)	200 – 300 – 400 – 400 – 400 – 200 (200 chiếc cho 10 phút đầu, 400 cho 30 phút sau và 200 cho 10 phút cuối)	
3	600 – 600 – 600 – 600 – 600 – 600	200 – 200 – 200 – 400 – 400 – 400	
4	500 – 600 – 700 – 700 – 600 – 500	300 – 300 – 300 – 300 – 300 – 300	
5	500 – 500 – 500 – 700 – 700 – 700	300 – 300 – 300 – 300 – 300 – 300	

6	500 – 500 – 500 – 700 – 700 – 700	200 – 200 – 200 – 400 – 400 – 400	
7	600 – 600 – 600 – 1200 – 1200 – 1200	450 – 450 – 450 – 450 – 450 – 450	
8	900 – 900 – 900 – 900 – 900 – 900	300 – 300 – 300 – 600 – 600 – 600	
9	600 – 600 – 600 – 1200 – 1200 – 1200	300 – 300 – 300 – 600 – 600 – 600	
10	900 – 900 – 900 – 900 – 900 – 900	450 – 450 – 450 – 450 – 450 – 450	

5.4. Đánh giá kết quả dựa trên mô phỏng

Để đánh giá khả năng thực thi và hiệu suất của thuật toán logic mờ, chúng tôi so sánh kết quả của thuật toán logic mờ với phương pháp điều khiển tín hiệu đèn GT có thời gian được thiết lập trước và chọn tiêu chí đánh giá là *số lượng phương tiện chờ ở ngã tư*.

Để thực hiện việc so sánh giữa 2 phương pháp, có một số điều kiện cần được thiết lập để đảm bảo tính đúng đắn của chương trình như là khi mô phỏng số lượng xe ở các tuyến đường của 2 phương pháp đều tương đồng nhau, chu kỳ đèn trước khi mở rộng của 2 phương pháp như nhau, thời gian mô phỏng giống nhau. Kết quả đánh giá dựa trên tiêu chí là số lượng phương tiện chờ tại nút giao cắt ở 2 phương pháp trên và được thể hiện qua Bảng 5.

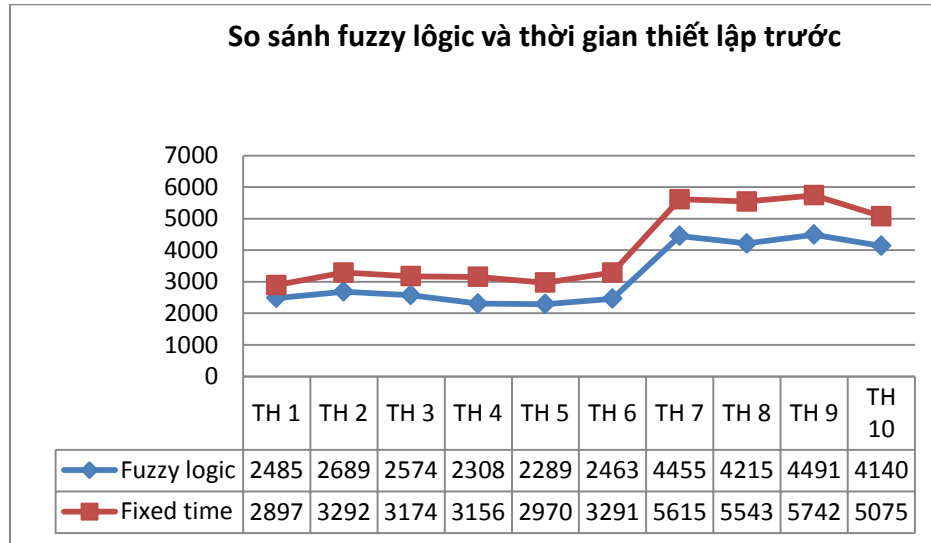
Bảng 5. Số lượng phương tiện tham gia và chờ đèn đỏ ở 2 phương pháp

Kịch bản	Số lượng tham gia (đơn vị: phương tiện)		Số lượng phương tiện chờ (đơn vị: phương tiện)				Chênh lệch (Fixed Time – Fuzz Logic)
	Lê Duẩn + Cầu Sông Hàn	Trần Phú	Phương pháp Logic mờ		Phương pháp Fixed Time		
				Tỉ lệ chờ		Tỉ lệ chờ	
1	3600	1800	2485	46%	2897	54%	8%
2	3600	1800	2689	50%	3292	60%	10%
3	3600	1800	2574	48%	3174	58%	10%
4	3600	1800	2308	43%	3156	58%	15%
5	3600	1800	2289	42%	2970	55%	13%
6	3600	1800	2463	46%	3291	61%	15%
7	5400	2700	4455	55%	5615	59%	14%
8	5400	2700	4215	52%	5543	68%	16%
9	5400	2700	4491	55%	5742	70%	15%
10	5400	2700	4140	51%	5075	62%	11%

Khi số lượng phương tiện ở hai tuyến đường chạy ổn định tức là cân bằng nhau thì số lượng xe chờ ở đèn đỏ của 2 phương pháp không chênh lệch nhau nhiều như ở kịch bản 1, 2, 3, 10 và số lượng phương tiện chờ chênh lệch nhau khoảng 400 đến 800 phương tiện. Nhưng khi có một tuyến đường có sự tăng đột biến số lượng phương tiện thì phương pháp lo-gíc mờ tỏ ra hiệu quả hơn khi số lượng phương tiện chờ ở đèn đỏ giảm hơn nhiều so với phương pháp

thời gian được thiết lập trước như ở kịch bản 4, 5, 6, 7, 8, 9 và số lượng phương tiện chờ chênh lệch nhau khoảng 800 đến 1200 phương tiện.

Qua biểu đồ ở Hình 13, có thể nhận thấy rằng ở 10 kịch bản khác nhau đã đề xuất ở trên thì thuật toán lo-gíc mờ vẫn tỏ ra hiệu quả hơn so với bộ điều khiển có thời gian được thiết lập trước do có số lượng xe chờ ở ngã tư ít hơn. Số lượng phương tiện chờ ở ngã tư đã giảm khoảng 8% đến 16% khi áp dụng thuật toán lo-gíc mờ so với phương pháp thời gian thiết lập trước. Điều này cho thấy *chỉ số tác nghẽn GT tại ngã tư cũng giảm* khi áp dụng thuật toán lo-gíc mờ.



Hình 13. So sánh số lượng phương tiện chờ giữa 2 phương pháp theo 10 kịch bản

VI. ĐÁNH GIÁ VÀ KẾT LUẬN

Bài báo này đã nghiên cứu về các phương pháp điều khiển tín hiệu đèn GT thông minh, những đặc điểm riêng biệt của mỗi phương pháp và một số ưu điểm của nó. Chúng tôi đã đề xuất mô hình đa tác tử kết hợp với thuật toán logic mờ trong việc điều khiển tín hiệu đèn GT một cách tối ưu. Mô hình hệ thống đa tác tử này đã được cài đặt trên nền tảng Jade và đã được tiến hành mô phỏng trên phần mềm mô phỏng SUMO. Bài báo cũng đã đưa ra 10 kịch bản mô phỏng điển hình trong hệ thống GT với độ biến thiên số lượng PTTGGT cả hai tuyến đường. Dựa trên kết quả mô phỏng, chúng tôi đã đánh giá được tính hiệu quả của mô hình đề xuất. Sau khi thực hiện việc đánh giá chúng tôi thấy rằng, số lượng phương tiện chờ đã giảm tương đối khi sử dụng công nghệ đa tác tử kết hợp với thuật toán logic mờ. Đặc biệt là với trường hợp số lượng PTTGGT có sự đột biến lớn. Hướng mở sắp tới là sẽ nghiên cứu tính hiệu quả của mô hình trên tiêu chí về thời gian chờ trung bình của các PTTGGT tại các vị trí nút giao thông. Đồng thời, để đánh giá mô hình tương tác, các kịch bản về tính đồng bộ dữ liệu của các tác tử đèn trong trường hợp có sự cố về giao tiếp giữa tác tử trung tâm và các tác tử đèn sẽ được nghiên cứu và đề cập trong thời gian sắp tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Benkheris, "Simulation and optimization of an isolated intersection with genetic algorithms," *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol.2 - Issue 11, 2013.
- [2] Leena Singh, Sudhanshu Tripathi, Himakshi Arora Amity, "Optimization for Traffic Signal Control Using Genetic Algorithm," *School of Engg & Tech, Computer Sc. & Engg.deptt*, 2009.
- [3] Kok Khiang Tan, Marzuki Khalid and Rubiyah Yus, "Intelligent traffic lights control by fuzzy logic," *Intel Artificial Intelligence Center, Universiti Teknologi Malaysia Jalan Semarak 54100 Kuala Lumpur*, 2007.
- [4] Z. STOTSKO, "Simulation of signalized intersection functioning with fuzzy control algorithm," *Lviv Polytechnic National University, Institute of Engineering Mechanics and Transport, Electronic Machinery Construction Department*, 2013.
- [5] A. Guerrero-Ibáñez, J. Contreras-Castillo, R. Buenrostro, A. B. Marti and A. Reyes Muñoz, "A Policy-Based Multi-Agent management approach for Intelligent Traffic-Light Control," *Intelligent Vehicles Symposium (IV) IEEE.*, 2010.
- [6] K. Dresner, "A Multiagent Approach to Autonomous Intersection," *Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin University Station, Austin, TX78712 USA.*, 2008.
- [7] John France, "A Multiagent System for Optimizing Urban Traffic," *John France (2003), A Multiagent Faculty of Computer Science University of New Brunswick Fredericton, NB, E3B5A3, Canada.*, 2003.
- [8] "Simulation of Urban Mobility," 2016. [Online]. Available: http://sumo.dlr.de/wiki/SUMO_User_Documentation.
- [9] G. Caire, "Jade tutorial jade programming for beginners," *TILAB, formerly CSELT*, 2009.
- [10] Guilherme Soares, Jose Macedo, Zafeiris Kokkinogenis, Rosaldo J. F. Rossetti, "An Integrated Framework for Multi-Agent Traffic Simulation using SUMO and JADE," *Artificial Intelligence and Computer Science Lab Department of Informatics Engineering Fac*, 2013.

FUZZY LOGIC MODEL FOR INTELLIGENT TRAFIC LIGHT CONTROL

Hoang Thi Thanh Ha, Kieu Anh Tuan, Le Van Lam

ABSTRACT — Most system of traffic lights in Vietnam operate based on the principle of timing with fixed cycle of green and red light at intersections. This is not really efficient and flexible as the fact that the number of vehicles on the roads is often uneven. The amount of vehicles on high traffic routes will accumulate overtime, is one of the basic causes leading to serious congestion situation. This article demonstrates some researches and developments of intelligent traffic lights control system which can automatically control the timing of green and red lights flexibly based on traffic flow of each route in real time. We have built multi-agent model to control intelligent traffic lights at the intersections. The model uses fuzzy logic algorithms to dynamically change interval of green and red light in an optimal way, it also reduces the waiting time for vehicles. The model has been installed on Jade platform and integrated with SUMO traffic-simulation system to evaluate the efficiency of this new method and compare it to the traditional approach of which, the cycle of light is set fixed.