

PHÁT TRIỂN GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN ĐÈN GIAO THÔNG THÔNG MINH

NGÔ LÊ NGỌC BÍCH, NGUYỄN CHÍ NGÔN

Trường Đại học Cần Thơ

Tóm tắt. Bài báo đề xuất mô hình cài đặt hệ thống đèn giao thông áp dụng cho một ngã tư dựa trên sự kết hợp của kỹ thuật xử lý ảnh và điều khiển mờ. Sau khi đèn đỏ được bật vài giây, hình ảnh sẽ được chụp và ước lượng mật độ xe lưu thông. Dựa trên kết quả ước lượng này, bộ điều khiển mờ sẽ quyết định thời gian đèn xanh cho chu kỳ tiếp theo, với mục tiêu làm cho tuyến đường có mật độ xe lưu thông cao hơn thì thời gian của chu kỳ đèn xanh sẽ dài hơn và ngược lại. Chương trình mô phỏng được xây dựng để đánh giá mô hình đề xuất cũng như so sánh với hệ thống hoạt động theo cơ chế định thời phổ biến hiện nay. Kết quả mô phỏng đã chứng minh được thời gian đèn xanh phụ thuộc vào mật độ xe trên đường, xe càng nhiều, thời gian càng dài và ngược lại. Khi mật độ xe giữa 2 tuyến đường chênh lệch nhau là 5 lần thì tổng thời gian chờ của mô hình hoạt động theo cơ chế thông minh giảm từ 15 đến 20 lần so với cơ chế định thời.

Abstract. This study presents an implementation of an intelligent traffic light control system for a crossroads based on combination of image processing and fuzzy controller. After certain seconds of red light, traffic densities are estimated from captured images. Based on this estimated result, a fuzzy controller determines the length of the next green light period in order to generate longer period for higher density road, vice versa. A software was developed to evaluate the suggestion algorithm, and to compare it with traditional timer-based traffic light system. Simulation results indicate that the road with higher traffic flow has a longer green light period, and vice versa. When the traffic's densities of 2 roads are 5 times different, the vehicle red-light waiting times of the suggested system are reduced from 15 to 20 times better than the traditional system.

Keywords. Traffic Light Control, Fuzzy Control, Image Processing

1. GIỚI THIỆU

Hầu hết các chốt giao thông ở nước ta có chu kỳ đèn xanh - đỏ được thiết lập cố định, bất chấp lưu lượng các phương tiện tham gia giao thông trên mỗi tuyến đường. Trong khi trên một tuyến có khá ít xe qua lại, thì ở tuyến kia xe phải nối đuôi nhau chờ đèn xanh ngày một nhiều hơn và lượng xe này không thể giải tỏa chỉ trong một hoặc hai chu kỳ, đặc biệt vào những giờ cao điểm. Việc tiêu tốn quá nhiều thời gian tại mỗi chốt giao thông gây ra hàng loạt hậu quả như: thời gian lưu thông kéo dài; xăng, dầu được sử dụng mà không sinh ra bất kỳ lợi ích nào ngoài việc tăng lượng khí thải vào môi trường ảnh hưởng sức khỏe người tham gia lưu thông... Thực trạng này thể hiện rõ tính kém linh hoạt của các chốt giao thông sử dụng cơ chế định thời phổ biến hiện nay.

Những chốt giao thông hoạt động theo cơ chế tự điều khiển (tự điều chỉnh thời gian đèn tín hiệu tùy thuộc vào lưu lượng xe) đang được ứng dụng rộng rãi ở các nước phát triển. Dựa

vào ưu thế về cơ sở hạ tầng và tình trạng phân luồng giao thông rõ ràng giữa các làn xe, hầu hết những mô hình này sử dụng cảm biến để xác định thực trạng lưu lượng xe cũng như kỹ thuật điều khiển mờ làm nền tảng cho việc thiết lập thời gian đèn tín hiệu ở chu kỳ tiếp theo [1-8]. Tuy nhiên, công nghệ này ở nước ta vẫn còn chưa được áp dụng. Đã có nhiều công trình khoa học được thực hiện nhằm khắc phục thực trạng giao thông trong nước [9-12]. Ở công bố [12] trước đây của nhóm nghiên cứu, giải pháp ước lượng mật độ lưu thông được đưa ra là so sánh sự khác biệt giữa hai ảnh chụp liên tiếp sau khi đèn đỏ được bật lên. Giải pháp này có hạn chế ở chỗ, nếu lượng xe dừng trước đèn đỏ quá đông, thì sự khác biệt giữa 2 ảnh chụp liên tiếp như trên là không lớn. Ngoài ra, nếu vì lý do kỹ thuật, mà ảnh thu được bị nhòe, thì sai số thu được khi so sánh hai ảnh liên tiếp cũng sẽ rất lớn. Nhằm khắc phục hạn chế của [12], nghiên cứu đề xuất một giải thuật ước lượng mật độ xe thông qua việc chụp ảnh một lần và ước lượng tỷ lệ giữa các phương tiện giao thông có trong ảnh và mặt đường. Đồng thời, nghiên cứu này cũng xây dựng một chương trình mô phỏng một cách trực quan hệ thống đèn giao thông trên cơ sở mã nguồn mở, áp dụng cho một ngã tư có khả năng hoạt động theo 2 cơ chế: định thời (mô hình đang sử dụng) và thông minh (mô hình đề xuất), để so sánh được những ưu, khuyết điểm của mỗi mô hình và hướng tới việc phát triển sản phẩm trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình hệ thống

Phát triển từ các kết quả đạt được ở [9] và [12], nghiên cứu này xây dựng phần mềm mô phỏng một cách trực quan một mô hình ngã tư với 2 làn đường. Ở mỗi làn đường, camera chụp ảnh trạng thái mặt đường sau khi đèn tín hiệu chuyển sang màu đỏ khoảng 1-2 giây. Hình ảnh thu được dùng để ước lượng mật độ các phương tiện tham gia giao thông, kết quả ước lượng làm đầu vào cho bộ điều khiển mờ, để quyết định thời gian đèn xanh cho chu kỳ tiếp theo.

2.2. Ước lượng mật độ xe

Có khá nhiều nghiên cứu với tham vọng có thể xác định được chính xác số lượng xe đang lưu thông trên đường, thực tế cho thấy tham vọng này có thể khả thi khi đếm lượng xe đang lưu thông thông qua video [10]. Tuy nhiên, với những phương tiện đang chờ tín hiệu đèn (xe di chuyển với vận tốc nhỏ hoặc gần như đứng yên), tham vọng này trở nên khó khăn. Ngoài ra, số lượng xe lưu thông trên đường cũng không phản ánh được chính xác tình trạng mật độ xe vì nó phụ thuộc trực tiếp vào diện tích mặt đường. Do đặc trưng của mô hình đề xuất là sử dụng logic mờ để quyết định thời gian chờ cho đèn tín hiệu, nhóm nghiên không tập trung vào việc xác định chính xác mật độ xe, thay vào đó là một kết quả ước lượng thoả các tiêu chí sau: (i) thời gian xử lý nhanh, phương pháp đơn giản, không cần vi xử lý có cấu hình cao; (ii) lưu lượng xe chỉ là một giá trị ước lượng, tương quan đến số lượng các phương tiện tham gia giao thông trên đường và không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi các tác nhân gây nhiễu. Phiên bản đầu tiên của nghiên cứu này ([9, 12]) sử dụng phương pháp chụp 2 ảnh liên tiếp trước đèn đỏ để ước lượng lưu lượng xe. Tuy nhiên, phương pháp này gặp phải sai số lớn khi lượng xe chiếm đầy khung ảnh làm cho sự khác biệt giữa hai lần chụp liên tiếp là không đáng kể. Để khắc phục hạn chế đó, nghiên cứu này phát triển một phiên bản mới của giải thuật ước lượng

mật độ xe. Ý tưởng của giải thuật là phân đoạn ảnh thành 2 vùng chính gồm mặt đường và phương tiện giao thông. Kết quả ước lượng là tỷ lệ phần trăm giữa tổng số pixels đại diện cho phương tiện giao thông trên tổng số pixels của vùng cần quan tâm, xác định bởi (1):

$$result = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{j=1}^m q_j} 100\%, \quad (1)$$

trong đó, p_i là pixel thứ i của vùng ảnh đại diện cho phương tiện giao thông và q_j là pixel thứ j của vùng ảnh cần quan tâm sau khi loại bỏ các chi tiết thừa của cả bức ảnh.

Hình ảnh thu từ camera được chuyển về mức xám, sau đó được xử lý để cải thiện độ tương phản của ảnh bằng bảng look-up. Bảng look-up là một ánh xạ một-một (hay nhiều-một) định nghĩa tính giá trị mới (*newIntensity*) cho mỗi pixel. Nó là mảng một chiều, và đối ảnh mức xám (nghiên cứu chỉ xử lý ảnh mức xám) độ dài của nó là 256. Mỗi giá trị thứ i định nghĩa một giá trị mới cho pixel theo (2):

$$newIntensity = lookup[oldIntensity]. \quad (2)$$

Dựa vào bảng look-up, ta tiến hành cải thiện độ tương phản cho ảnh theo cách sau: (i) tìm giá trị nhỏ nhất ($i_{min} = 0$) và lớn nhất (i_{max}) trong mảng biểu đồ ảnh (histogram); (ii) tính lại giá trị mới cho mỗi pixel theo (3):

$$lookup[i] = \begin{cases} 0, & i < i_{min} \\ 255, & i > i_{max} \\ \frac{255(i - i_{min})}{i_{max} - i_{min}} + 0,5 & \end{cases} \quad (3)$$

Mã giả cho giải thuật được minh họa như Hình 1.

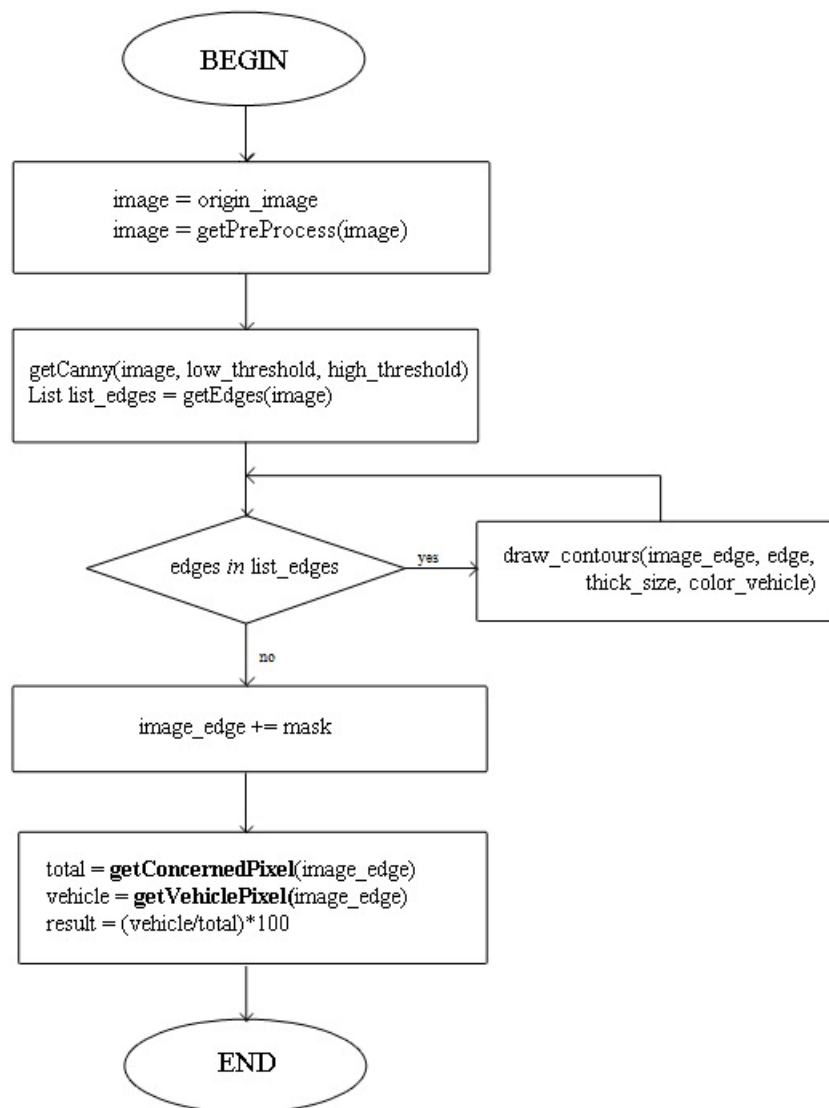
```

Image getPreProcess(Image img, Integer minValue) {
    // tính biểu đồ ảnh
    Array histogram= getHistogram(img);
    // tìm giá trị nhỏ nhất lớn hơn minValue từ bên trái (cực trái)
    Integer imin= 0;
    for( ; imin < histogram.size(); imin++)
        if (histogram[imin] > minValue) break;
    // tìm giá trị nhỏ nhất lớn hơn minValue từ bên phải (cực phải)
    Integer imax= histogram.size() - 1;
    for( ; imax >= 0; imax--)
        if (histogram[imax] > minValue) break;
    // tạo bảng lookup
    Array lookup[256];
    //kéo dẫn giá trị giữa imin và imax
    for (int i=0; i<256; i++) {
        if (i < imin) lookup[i]= 0;
        else if (i > imax) lookup[i]= 255;
        else lookup[i]= 255.0*(i-imin)/(imax-imin)+0.5;
    }
    Image result= applyLookUp(img,lookup);
    return result;
}

```

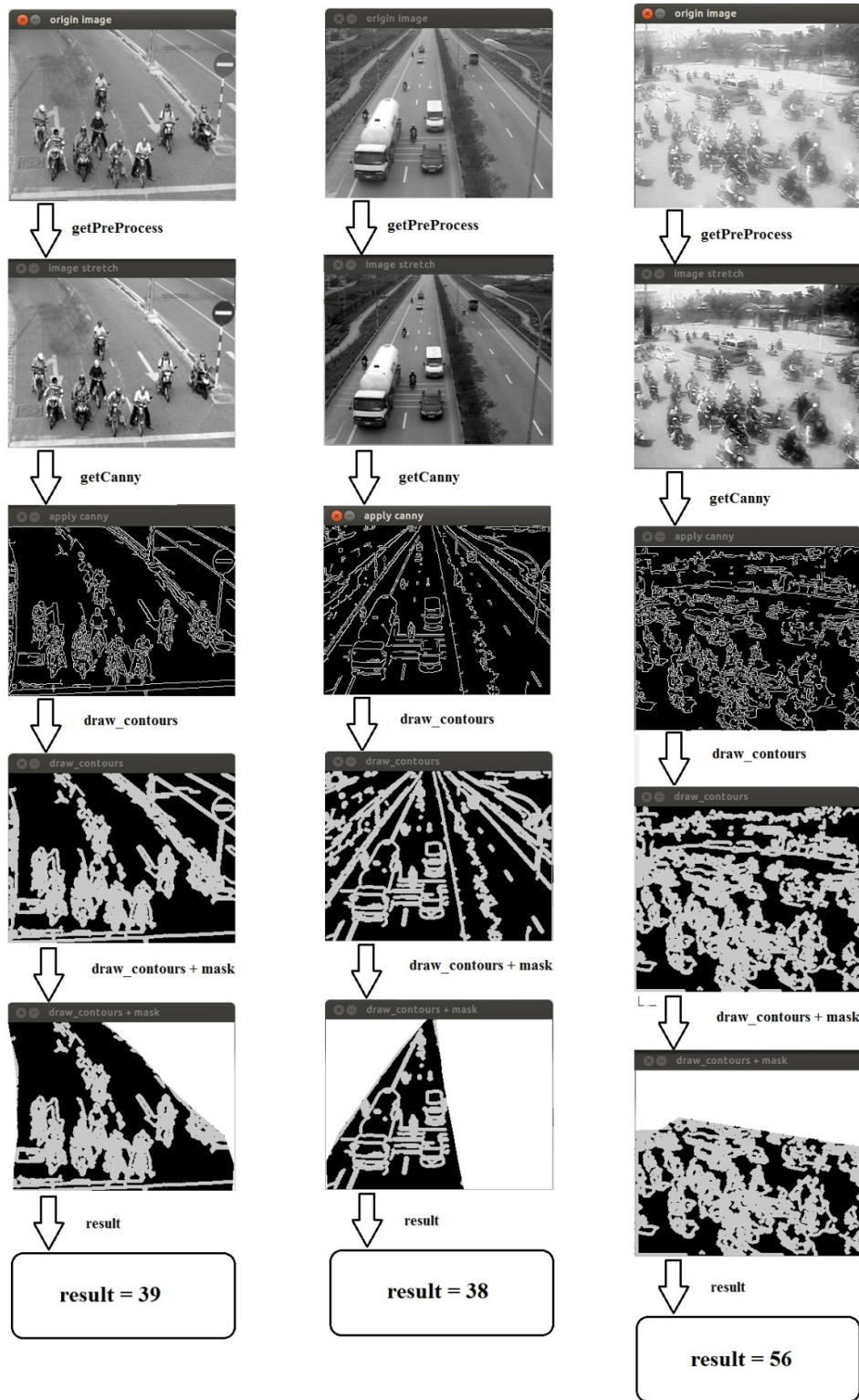
Hình 1. Minh họa giải thuật ước lượng mật độ xe bằng mã giả

Sau quá trình tiền xử lý để làm nổi lên các lượng thông tin cần quan tâm, áp dụng bộ lọc Canny[19] để tìm ra những đường biên giữa phương tiện giao thông và mặt đường. Bộ lọc này cần 2 tham số đầu vào lần lượt là ngưỡng trên (*high_threshold*) và ngưỡng dưới (*low_threshold*). Kết quả của phép lọc là hình ảnh mới, chứa các đường biên của phương tiện. Từ tập hợp các đường biên này, ta vẽ lại chúng với độ dày (*thick_edge*) tùy thuộc vào kích thước của hình ảnh cần ước lượng và màu của đường biên là màu đại diện cho phương tiện giao thông. Áp dụng mặt nạ (*mask image*) để phân vùng ảnh cần ước lượng, ta có được hình ảnh phân đoạn của mặt đường và phương tiện giao thông. Từ đây, tính tỷ lệ phần trăm số pixel đại diện phương tiện trên tổng số pixel để có được kết quả ước lượng. Lưu đồ cho giải thuật cũng như ví dụ được minh họa trên Hình 2 và Hình 3.



Hình 2. Lưu đồ giải thuật ước lượng mật độ xe

Từ quá trình thực hiện, ta nhận thấy bản thân bộ lọc Canny đã loại bỏ những tác nhân gây nhiễu do đó kết quả sẽ không bị ảnh hưởng nhiều bởi các yếu tố gây nhiễu cũng như



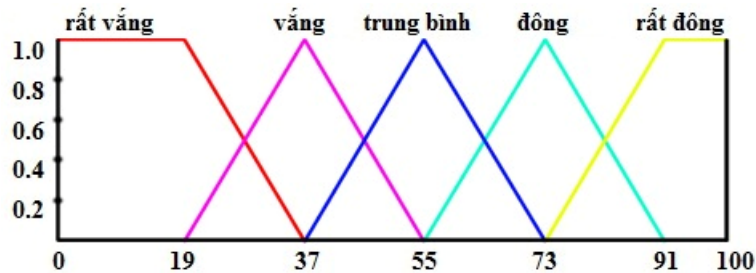
Hình 3. Ví dụ minh họa kết quả ước lượng mật độ xe

yếu tố thời tiết (độ sáng của hình ảnh khác nhau tùy vào từng thời điểm khác nhau trong ngày). Việc áp dụng mặt nạ cho ta khả năng linh hoạt trong việc ước lượng với những góc đặt camera khác nhau.

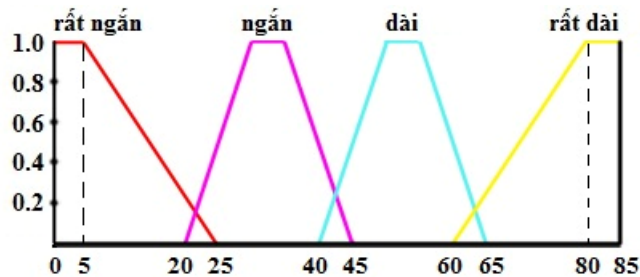
Để chọn được các cạnh thực sự cũng như loại bỏ những chi tiết gây nhiễu, chọn giá trị cho ngưỡng trên (*high_threshold*) và ngưỡng dưới (*low_threshold*) lần lượt là 200 và 100. Độ dày (*thick_size*) của đường biên có thể tinh chỉnh để phù hợp với kích thước ảnh cần ước lượng. Thực nghiệm cho thấy, giải thuật hoạt động ổn định khi số lượng xe trên đường tương đối đáng kể. Tuy nhiên, tỏ ra kém hiệu quả khi số lượng xe trên đường ít, những vật gây nhiễu (vạch kẻ, bóng của phương tiện...) cũng được giải thuật Canny nhận dạng và được đánh dấu là những pixels đặc trưng cho sự có mặt của phương tiện trong kết quả cuối cùng. Do đó, yếu tố gây nhiễu này cần được quan tâm trong quá trình xây dựng bộ điều khiển mờ.

2.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ

Bộ điều khiển mờ được dùng để quyết định thời gian đèn xanh ở chu kỳ tiếp theo dựa trên kết quả ước lượng từ hình ảnh thu được ở hai làn xe được kế thừa từ [12], với 2 ngõ vào và 2 ngõ ra. Các ngõ vào là mật độ xe trên hai tuyến đường L0 và L1, có giá trị biến thiên trong [1...100]% và được mờ hoá thành 5 tập mờ chính tắc: {RatVang, Vang, TrungBinh, Dong và RatDong}, như Hình 4. Tương tự, các ngõ ra là thời gian đèn xanh T0 và T1 của hai tuyến đường có giá trị vật lý biến thiên trong [15... 80] giây, được mờ hóa thành 4 tập mờ chính tắc: {Ratngan, Ngan, Dai và Ratdai}, trên Hình 5.



Hình 4. Các hàm liên thuộc ngõ vào



Hình 5. Các hàm liên thuộc ngõ ra

Bộ điều khiển mờ có 25 luật được xây dựng dựa trên thực nghiệm và minh họa trên Bảng 1, với cơ chế suy diễn MAX-MIN và giải mờ theo phương pháp điểm trọng tâm. Chi tiết về bộ điều khiển mờ xin xem [12].

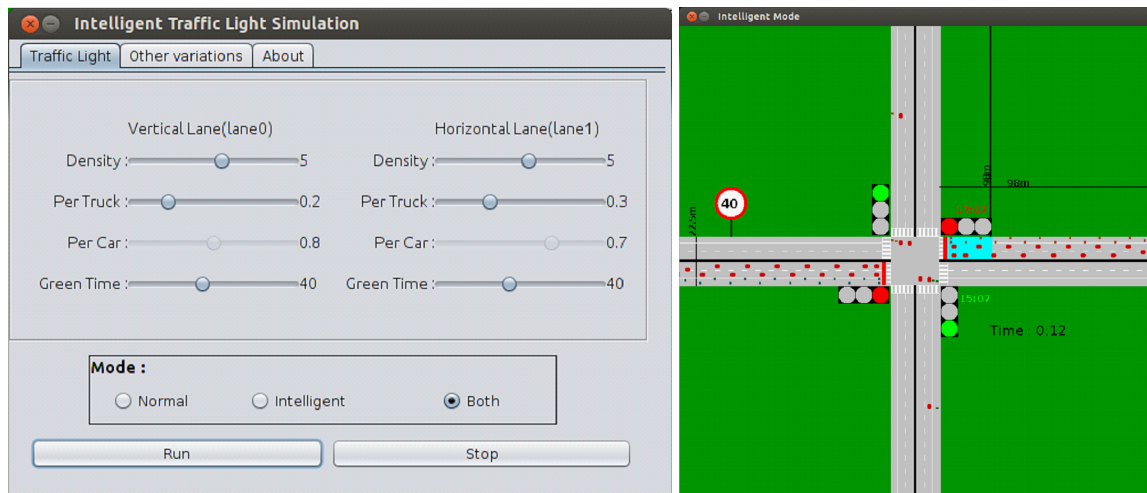
Bảng 1. Luật điều khiển cho mô hình đèn giao thông thông minh

L1 \ L0	RatVang	Vang	TrungBinh	Dong	RatDong
RatVang	T0:RatNgan T1:RatNgan	T0:Ngan T1:Dai	T0:Ngan T1:Dai	T0:Ratngan T1:Ratdai	T0:Ratngan T1:Ratdai
Vang	T0:Dai T1:Ngan	T0: RatNgan T1: RatNgan	T0:Ngan T1:Dai	T0:Ratngan T1:Dai	T0:Ratngan T1:Ratdai
TrungBinh	T0:Dai T1:Ngan	T0:Dai T1:Ngan	T0: RatNgan T1: RatNgan	T0:Ngan T1:Dai	T0:Ngan T1:Dai
Dong	T0:Ratdai T1:Ratngan	T0:Ratdai T1:Ngan	T0:Dai T1:Ngan	T0: RatNgan T1: RatNgan	T0:Ngan T1:Dai
RatDong	T0:Ratdai T1:Ratngan	T0:Ratdai T1:Ratngan	T0:Dai T1:Ngan	T0:Dai T1:Ngan	T0: RatNgan T1: RatNgan

3. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Mô hình mô phỏng

Để kiểm chứng các giải thuật đã đề xuất, nghiên cứu này xây dựng mô hình mô phỏng một chốt đèn tín hiệu giao thông được minh họa như Hình 6. Đèn giao thông được điều khiển dựa trên hai cơ chế: định thời (thời gian đèn tín hiệu cho 2 tuyến đường là cố định) và thông minh (mô hình đề xuất). Ngoài ra, mô hình còn có các thông số tùy chỉnh sau: mật độ xe cho 2 tuyến đường, thời gian đèn xanh cho 2 tuyến đường, tốc độ di chuyển của xe, độ dài của phần đường cần quan sát...



a) Bảng điều khiển các thông số mô phỏng b) Giao diện mô phỏng chốt giao thông

Hình 6. Giao diện mô phỏng một chốt đèn giao thông

3.2. Kết quả thực nghiệm

Thông số mô tả mật độ xe của mỗi làn đường có giá trị trong [1, 9]. Mô hình được khảo sát dựa theo hai tiêu chí: (i) mật độ xe và (ii) độ dài của vùng cần quan sát. Giá trị mật độ

Bảng 2. Thời gian cho đèn xanh với độ dài vùng quan sát là 10m

		L0		Thời gian cho đèn tín hiệu (giây)				
		L1	1	3	5	7	9	
Thời gian cho đèn tín hiệu (giây)	1	20-20	30-40	30-45	17-70	17-75		
	3	40-30	30-30	30-40	17-60	17-65		
	5	45-30	40-30	35-35	30-45	30-55		
	7	70-17	60-17	45-30	20-20	30-35		
	9	75-17	65-17	55-30	35-30	35-35		

Bảng 3. Thời gian cho đèn xanh với độ dài vùng quan sát là 20m

		L0		Thời gian cho đèn tín hiệu (giây)				
		L1	1	3	5	7	9	
Thời gian cho đèn tín hiệu (giây)	1	16-16	25-35	30-50	25-60	17-75		
	3	35-25	32-32	30-45	20-60	17-65		
	5	50-30	45-30	30-30	30-50	30-60		
	7	60-25	60-20	50-30	20-20	30-45		
	9	75-17	65-17	60-30	45-30	35-35		

có 5 mốc lần lượt là: 1, 3, 5, 7 và 9. Giá trị độ dài vùng quan sát được khảo sát theo 2 mốc: 10m và 20m. Chốt giao thông có 2 tuyến đường với các giá trị mật độ xe giống hoặc khác nhau, do đó sẽ có 50 trường hợp cần được khảo sát. Trong mỗi trường hợp được thực hiện 10 lần với thời gian chạy cho mỗi lần là 20 phút. Như vậy, sẽ có 500 thực nghiệm được khảo sát. Kết quả được thống kê trong Bảng 2 và Bảng 3. Kết quả này cho thấy, khi mật độ xe trên 2 tuyến đường bằng nhau, thời gian đèn xanh khoảng 16-35 giây, gần giống như cơ chế định thời. Khi mật độ xe chênh lệch nhau thì tuyến đường nào có lưu lượng xe đông sẽ có thời gian đèn xanh dài hơn. Thời gian đèn xanh tối thiểu là 19 ± 4 giây và đối đa là 75 ± 4 giây. Ngoài ra, kết quả cũng phản ánh được bộ điều khiển mờ trên hai tuyến đường có vai trò như nhau. Điều này tạo ra nhiều thuận lợi khi triển khai mô hình trong thực tế. Từ Bảng 2 và Bảng 3 ta thấy nếu quang trường quá ngắn, hệ thống sẽ hoạt động ít hiệu quả khi không có sự chênh lệch lớn về thời gian giữa 2 tuyến đường, trong khi sự chênh lệch về mật độ phương tiện giao thông là khá cao.

3.3. So sánh giữa hai cơ chế: định thời và thông minh

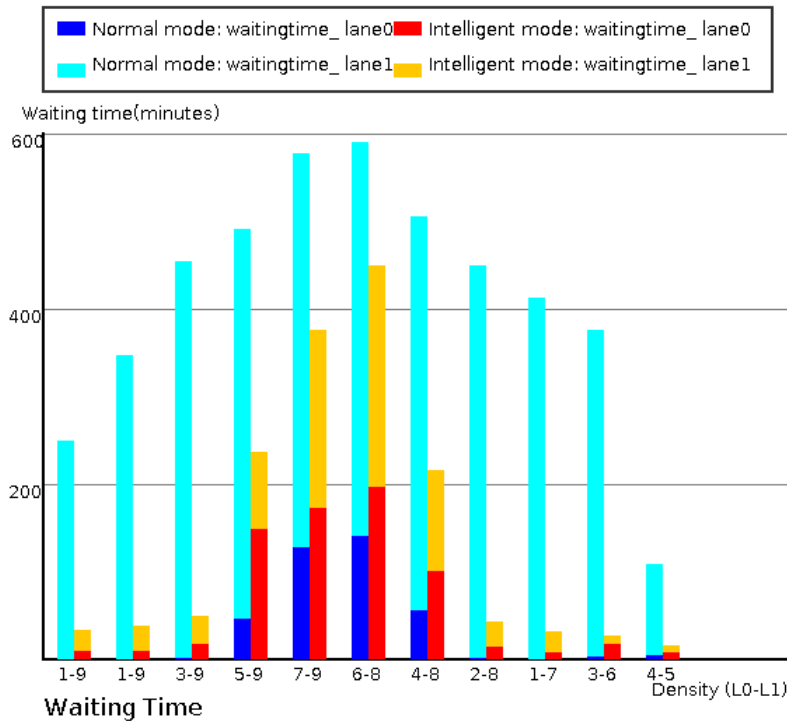
Mô phỏng được thực hiện với cùng các tham số đầu vào, thời gian đèn xanh (cho cơ chế định thời) là 30 giây ở cả 2 tuyến đường, độ dài quang trường (phạm vi quan sát của camera) là 20m, hình ảnh được chụp sau khi đèn đỏ được bật lên 2 giây và độ dài đoạn đường cần khảo sát trong khoảng 830-850m (tính từ vị trí đặt đèn đỏ trở về trước). Tương ứng với mỗi giá trị mật độ của 2 tuyến đường (L0-L1) sẽ có 30 chu kỳ được thực hiện, trong đó mỗi chu kỳ bắt đầu khi đèn tín hiệu chuyển sang đỏ ở làn đường L1. Ngoài ra, ta qui ước gọi làn đường thẳng đứng là đường 0 (L0) và làn đường nằm ngang là đường 1 (L1).

Tình hình giao thông nước ta chưa có sự phân luồng rõ ràng, do đó để phản ánh được kết quả mô phỏng, nghiên cứu này thực hiện ước lượng tương quang về số lượng xe tối đa trong phạm vi 100m trên thực tế như sau: (i) giả sử độ dài của xe máy là 2m, trong làn đường qui

định sẽ có tối đa 3 xe máy đang chờ. Như vậy, trong phạm vi 100m có khoảng tối đa 140-160 xe máy đang chờ; (ii) độ dài ước lượng cho xe hơi là 3m và xe tải là 4m. Như vậy sẽ có từ 50-70 xe 4 bánh trong phạm vi xem xét. Từ giả thuyết này, mô phỏng sẽ có từ 140-160 xe máy và từ 50-70 xe bốn bánh trong phạm vi 100m. Nếu qui ước một xe bắt đầu ở trạng thái chờ khi không di chuyển (vận tốc bằng 0) thì ta có thời gian chờ của mỗi tuyến đường được tính bằng cách lấy tổng số lượng xe đang chờ sau mỗi giây kể từ khi đèn đỏ được bật, xác định bởi (4):

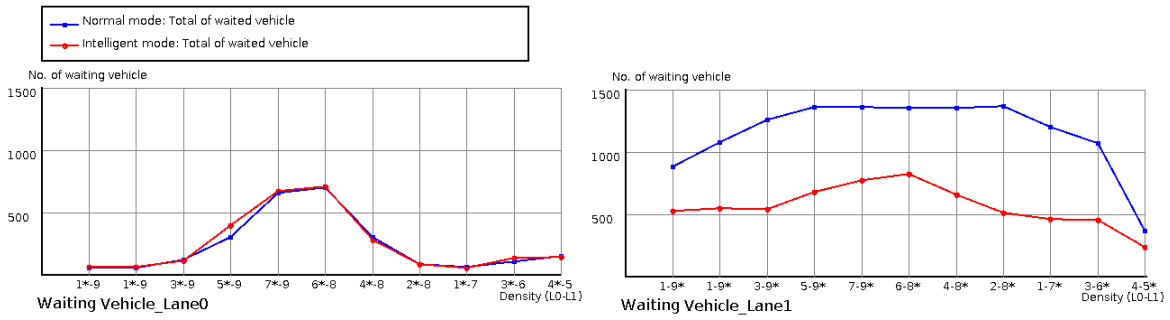
$$W = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^N S_i, \tag{4}$$

trong đó, W là tổng thời gian chờ (đơn vị là phút), S_i là tổng số xe đang ở trạng thái chờ tại giây thứ i và N là tổng số giây của chu kỳ đèn đỏ.

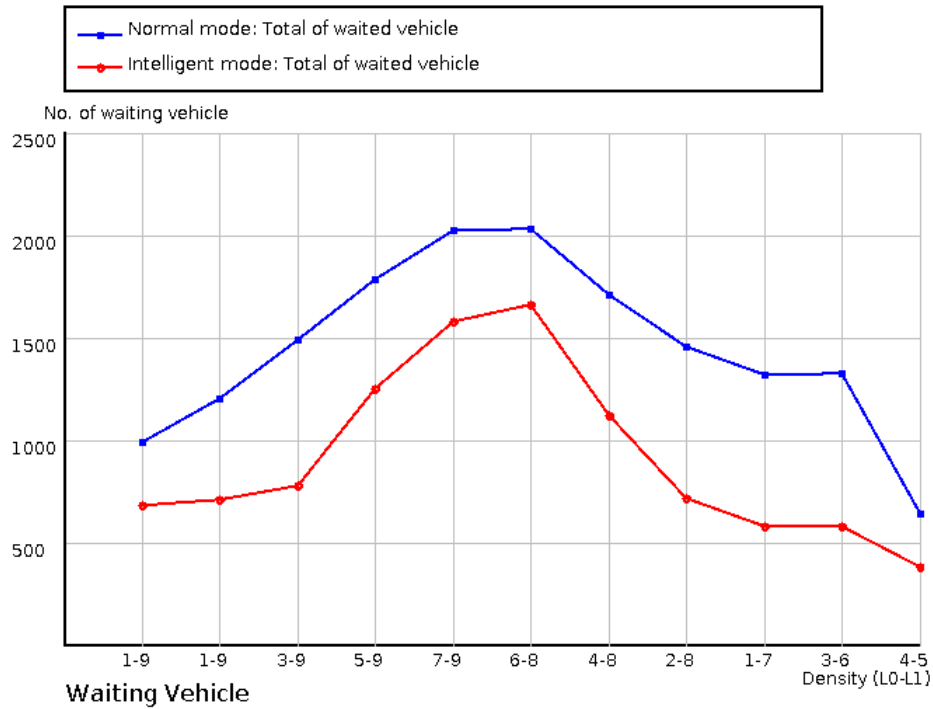


Hình 7. Tổng thời gian chờ của 2 mô hình có sự thay đổi mật độ

Hình 7 cho thấy sự khác biệt về tổng thời gian chờ của 2 mô hình. Thời gian này được tính trong chu kỳ ngay trước khi mật độ của 2 tuyến đường chuyển sang giá trị mới. Hình 8 minh họa biểu đồ khảo sát số lượng xe trên đoạn đường tính từ vị trí đặt đèn giao thông trở về trước. Các biểu đồ so sánh cho thấy đối với cơ chế định thời, khi lưu lượng xe không được giải tỏa hết trong 1 chu kỳ, số lượng xe chờ sẽ được tích lũy và ngày càng tăng theo thời gian. Trong khi đó, đối với mô hình hoạt động theo cơ chế thông minh, thời gian đèn xanh ở tuyến đường có lưu lượng xe cao khá dài, do đó số lượng xe chờ được giảm đi một cách đáng kể. Điều này là một trong những nhân tố quan trọng giúp giảm nguy cơ ùn tắc giao thông.



a) Tổng số xe đang chờ trên từng tuyến đường có sự thay đổi mật độ



b) Tổng số xe đang chờ trên cả hai tuyến đường có sự thay đổi mật độ

Hình 8. Tổng số xe đang chờ của 2 mô hình có sự thay đổi mật độ

Ngoài ra, kết quả mô phỏng cũng cho thấy, khi các tuyến đường có lưu lượng xe ít hoặc gần bằng nhau, thì hoạt động của cơ chế định thời và cơ chế thông minh tương tự nhau. Tức là, mô hình đề xuất trong nghiên cứu này tỏ ra hiệu quả hơn khi áp dụng cho các tuyến đường có lưu lượng xe tham gia lưu thông lớn hoặc có mật độ xe chênh lệch đáng kể.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Nghiên cứu đã đề xuất một giải thuật đơn giản trong việc ước lượng mật độ phương tiện lưu thông trên đường và điều khiển mở được một chốt giao thông thông minh cho một mô hình ngã tư. Kết quả mô phỏng cho thấy, mô hình đèn giao thông thông minh có ưu điểm

vượt trội so với mô hình định thời. Khi độ chênh lệch về lưu lượng xe ở hai tuyến đường khác nhau, mô hình điều khiển thông minh sẽ tự điều chỉnh thời gian chờ thích hợp. Do đó, thời gian chờ của mỗi phương tiện đã được giảm đáng kể. Mở ra một khả năng triển khai mô hình thực tế, góp phần làm giảm tình trạng ùn tắc giao thông gây ra nhiều thiệt hại về kinh tế, xã hội và môi trường hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C.C.Lee, Fuzzy logic in control system: fuzzy logic controller - Part I & II, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics* **20** (2) (Mar/Apr. 1990) 404–435.
- [2] W. Choi, H. Yoon, K. Kim, I. Chung, and Lee, A traffic light controlling FLC considering the traffic congestion. In Pal, N. and Sugeno, M., editors, *Advances in Soft Computing - AFSS 2002, Proc. Inter. Conference on Fuzzy Systems, 2002* (69–75).
- [3] G.H.Kulkarni, P.G. Waingankar, Fuzzy logic based traffic light controller, *Proc. IEEE Conf. ICIS 2007*, Issue 9-11, Aug. 2007 (107–110).
- [4] C. P.Pappis, and E. H. Mamdani, A fuzzy logic controller for a traffic junction, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics* **SMC-7** (10) (Oct. 1977) 707–717.
- [5] SWARCO AG, Technical details: traffic light controller ACTROS, 220.M.0 03.10. EN. AF Printed in Germany.
- [6] K. K.Tan, M. Khalid and R. Yusof, Intelligent traffic lights control by fuzzy logic, *Malaysian Journal of Computer Science* **9** (2) (1996) 29–35.
- [7] M. Wiering, J.v. Veenen, J. Vreeken, and A. Koopman, Intelligent Traffic Light Control, Technical report UU-CS-2004-029, Utrecht University, The Netherlands, 2004.
- [8] R.Woesler, Real-time recognition and reidentification of vehicles from video data with high reidentification rate, *Proc. 8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2004)*, Orlando, Florida, USA. Edited by: Nagib Callaos, William Lesso, Ashraf Ahmad, Vol. VI, pp. 347-352, International Institute of Informatics and Systemics, ISBN 980-6560-13-2, 2004.
- [9] Nguyễn Chí Ngôn, Nghiên cứu thiết kế hệ thống đèn giao thông thông minh, *Tạp chí Khoa học-ISSN: 1859-2333 Đại học Cần Thơ*, (15b) (2010) 56–63.
- [10] Lê Hùng Lân, “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo các thiết bị phương tiện và hệ thống tự động kiểm tra, giám sát, điều hành phục vụ cho an toàn giao thông đường bộ”, Đề tài KC.03.5/06-10, 2007-2009, Đại học Giao Thông Vận Tải.
- [11] Thái Quang Vinh, Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo các thiết bị thu GPS phục vụ các ứng dụng giám sát và điều khiển các đối tượng từ xa thông qua mạng điện thoại di động. Viện Công Nghệ Thông Tin, 2008-6/2011.
- [12] Nguyễn Chí Ngôn, Một giải pháp thiết kế hệ thống đèn giao thông thông minh, *Kỷ yếu Hội nghị toàn quốc về ĐK và Tự động hóa, VCCA 2011*, ISBN:978-604-911-020-7 (639–644).
- [13] Nguyễn Thanh Hải, “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị định vị vệ tinh phục vụ giám sát, quản lý phương tiện giao thông đường bộ, đường sắt”, Đề tài KC06.02/06-10, Đại học Giao Thông Vận Tải, 2010.
- [14] Phạm Hồng Quang, “Nghiên cứu, thiết kế chế tạo hệ thống tự động giám sát video và điều khiển từ xa trên cơ sở công nghệ cao có sử dụng linux”, Đề tài KC.03.01/06-10, Viện Toán Học, 2007-2009.
- [15] Rafael C.Gonzalez and Richard E.Woods, *Digital Image Processing*, second edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.

Ngày nhận bài 19 - 7 - 2012

Ngày lại sửa ngày 02 - 12 - 2012