

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐÈN GIAO THÔNG THÔNG MINH

Nguyễn Chí Ngôn¹

ABSTRACT

This paper purposes to design a traffic light system for a crossroads with its signals depend on traffic flow situation acquired from two cameras observing two roads. An algorithm for traffic density estimating and 25 rules of a fuzzy controller are developed to determine the next green signal period. An ATMEL AVR ATmega16-based light driver and an experimental model using plastic balls simulating transports are implemented to verify the control algorithm. Results of 450 experiments indicate which road has higher traffic flow has longer green signal period and reverse. The maximum and minimum periods are correspondently 78 ± 2 and 18 ± 2 seconds in case the traffic flow of one road is 4 times higher than the other one.

Keywords: Fuzzy control, traffic light, microcontroller, image processing

Title: Research on Smart Traffic Light System Design

TÓM TẮT

Bài báo nhằm mục tiêu thiết kế một hệ thống đèn giao thông cho một giao lộ, với chu kỳ đèn tín hiệu tùy thuộc vào tình trạng xe lưu thông trên hai tuyến đường quan sát được bởi 2 camera. Một giải thuật ước lượng lưu lượng xe và 25 luật điều khiển mờ được xây dựng để quyết định thời gian của chu kỳ đèn xanh kế tiếp cho tuyến đường tương ứng. Mạch kiểm soát hiển thị đèn tín hiệu được thiết kế dựa trên vi điều khiển ATMEL AVR ATmega16 và một mô hình thực nghiệm sử dụng các quả bóng nhựa giả lập các phương tiện giao thông được thiết kế để kiểm chứng giải thuật điều khiển. Kết quả trên 450 thực nghiệm cho thấy tuyến đường nào có lưu lượng xe lớn hơn thì chu kỳ đèn xanh của tuyến đường đó dài hơn và ngược lại. Chu kỳ đèn xanh tối đa là 78 ± 2 giây và tối thiểu là 18 ± 2 giây, tương ứng với trường hợp lưu lượng xe trên 2 tuyến đường chênh lệch nhau 4 lần.

Từ khóa: Điều khiển mờ, đèn giao thông, vi điều khiển, xử lý ảnh

1 GIỚI THIỆU

Trong điều kiện các phương tiện giao thông công cộng ở Việt Nam chưa được phát triển tốt, thêm vào đó là sự tràn ngập xe gắn máy Trung Quốc giá rẻ, những năm gần đây vấn đề ách tắc giao thông ở các tuyến đường huyết mạch của các thành phố lớn là điều không thể tránh khỏi. Trong khi đó, 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 tắt mở đèn xanh-đỏ được thiết lập cố định cho cả 2 tuyến đường. Điều này tỏ ra kém hiệu quả khi các phương tiện lưu thông trên hai tuyến đường có sự chênh lệch. 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 tắc nghẽn. 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.

¹ Bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Kỹ thuật Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Ở các quốc gia tiên tiến trên, giải pháp đưa ra là lắp đặt các hệ thống camera để tự động điều tiết giao thông tại các giao lộ trọng yếu. Trong quá trình phát triển hệ thống kiểm soát giao thông, đã có rất nhiều công bố về việc nghiên cứu thông qua mô phỏng và thực nghiệm nhằm tối ưu hóa các bộ điều khiển đèn tín hiệu. Trong đó, các nghiên cứu điển hình về việc sử dụng kỹ thuật xử lý ảnh kết hợp với điều khiển mờ (fuzzy control) đèn tín hiệu đã được áp dụng thành công (Lin, H., K. M. Aye, H. M. Tun, Theingi and Z. M. Naing, 2008; Wiering M., J. v. Veenen, J. Vreeken and A. Koopman, 2004; Tan K. K., M. Khalid and R. Yusof, 1996; Kulkarni, G. H.; Waingankar, P.G., 2007). Các hệ thống này có giá rất cao, ví dụ, một hệ thống đèn giao thông thông minh thương mại sử dụng máy tính công nghiệp và các camera giám sát được giới thiệu bởi AdvanTech lên đến hàng tỉ đồng cho mỗi chốt giao thông (AdvanTech, 2007).

Ở nước ta, hầu hết các hệ thống đèn giao thông hiện đại đều được nhập khẩu với giá thành cao và kèm theo hàng loạt các vấn đề cần khắc phục, do chúng ta chưa làm chủ được công nghệ. Chẳng hạn, để lắp đặt 121 trụ đèn giao thông do Tây Ban Nha sản xuất, trong dự án “Tăng cường năng lực giao thông Thành phố Hồ Chí Minh”, cần đến 3,5 triệu USD. Tuy nhiên, chưa đầy một năm sử dụng, chúng ta đã “phoi nẳng” số tiền khổng lồ này, do các trụ đèn giao thông trên không hoạt động được (Ngọc Ân, 2004). Năm 2007, Sở Giao Thông Công Chánh Thành phố Hồ Chí Minh triển khai lắp đặt 48 chốt đèn gắn cảm biến để điều tiết giao thông tự động, bằng nguồn vốn ODA (Lê Mỹ, 2007). Tuy vậy, mới sau một thời gian ngắn sử dụng, các chốt đèn giao thông này đã bị bệnh “nan y”. Ủy Ban Nhân Dân thành phố Hồ Chí Minh phải chi hơn 8.456 USD để mời chuyên gia nước ngoài “chẩn bệnh” (Ánh Nguyệt và Thu Hồng, 2008). Rõ ràng làm chủ công nghệ đèn giao thông thông minh là nhu cầu thiết thực mà xã hội đã và đang đặt ra.

Nghiên cứu này hướng tới việc xây dựng mô hình thực nghiệm để kiểm chứng giải pháp để thiết kế đèn giao thông thông minh dựa trên công nghệ xử lý ảnh và kỹ thuật điều khiển mờ. Hệ thống dùng 2 camera để quan sát 2 tuyến đường. Tuyến đường nào có lưu lượng xe cao hơn thì chu kỳ đèn xanh tương ứng cho tuyến đường đó sẽ dài hơn tuyến đường còn lại.

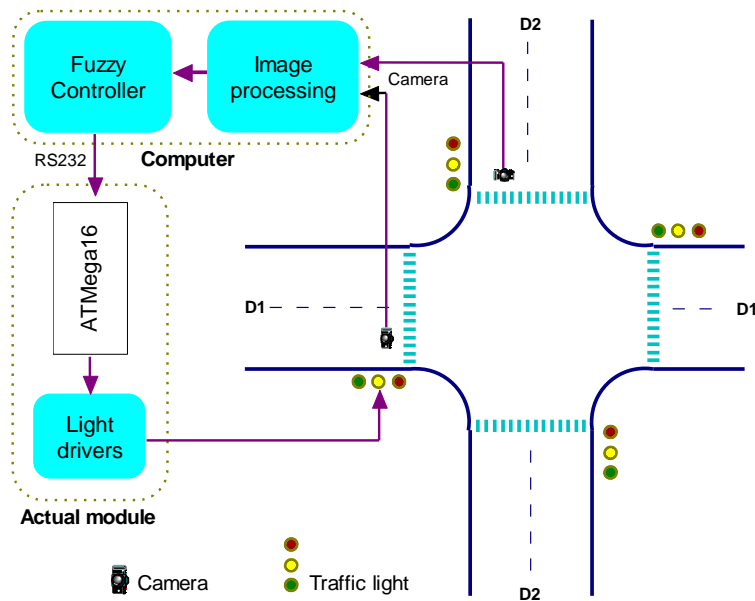
2 PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Mô hình hệ thống

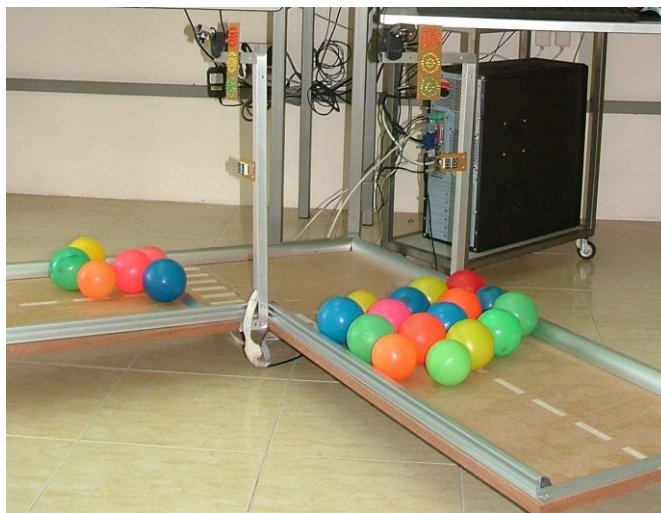
Nguyên lý của hệ thống đèn giao thông thông minh được mô tả trên hình 1. Tình trạng xe lưu thông trên 2 tuyến đường thu từ 2 camera được truyền về máy tính. Phần mềm xử lý ảnh (image processing) trên máy tính sẽ ước lượng lưu lượng xe trên mỗi tuyến đường và cung cấp dữ liệu tương ứng cho một bộ điều khiển mờ (fuzzy controller). Tùy thuộc vào lưu lượng xe tại thời điểm quan sát, bộ điều khiển mờ sẽ quyết định thời gian của chu kỳ đèn xanh kế tiếp. Thời gian này được truyền từ máy tính xuống mạch kiểm soát hiện thị đèn tín hiệu thông qua cổng truyền thông nối tiếp RS232.

Để kiểm chứng giải thuật điều khiển, mô hình thực nghiệm một giao lộ được thiết kế như hình 2. Các quả bóng nhựa được sử dụng để giả lập các phương tiện lưu thông trên đường. Mạch giao tiếp máy tính và hiện thị đèn tín hiệu được thiết

kế dựa trên vi điều khiển ATMEL AVR ATmega16, hình 3. Mạch này có nhiệm vụ nhận tham số về thời gian của chu kỳ đèn xanh từ bộ điều khiển mờ trên máy tính và duy trì việc hiển thị đèn tín hiệu theo tham số nhận được.



Hình 1: Nguyên lý hoạt động của hệ thống đèn giao thông thông minh

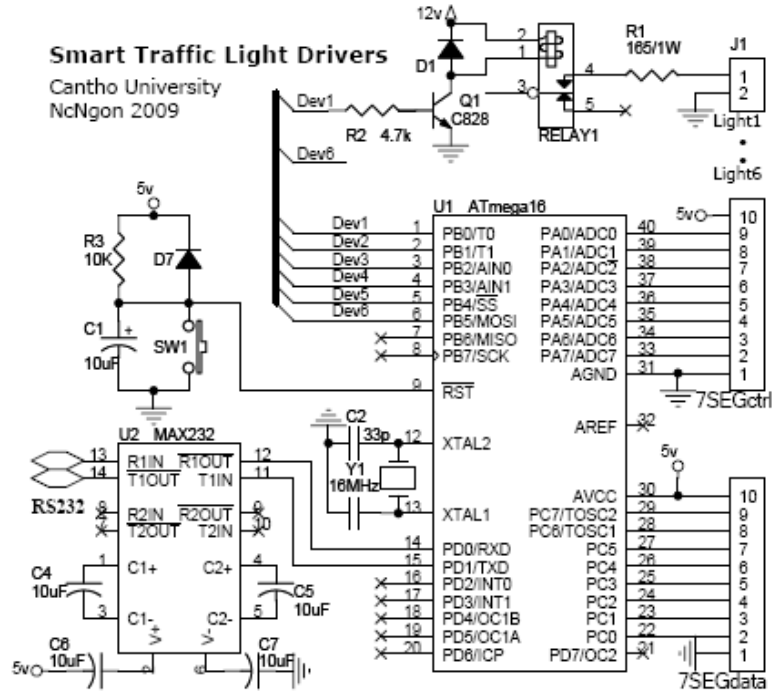


Hình 2: Mô hình thực nghiệm

2.2 Ước lượng lưu lượng xe

Thực nghiệm cho thấy, nếu tiến hành đếm chính xác số lượng xe từ hình ảnh chụp được để tính toán lưu lượng xe thì thuật toán tỏ ra chậm chạp và kém hiệu quả. Điều này thể hiện ở chỗ thời gian xử lý ảnh đôi khi lớn hơn chu kỳ đèn tín hiệu. Do vậy, chúng tôi đề xuất một giải thuật nhanh hơn để ước lượng tương đối lưu lượng xe. Giải thuật này cần chụp liên tiếp 2 ảnh tình trạng xe đang dừng trước đèn đỏ của một tuyến đường. Ảnh thứ nhất được chụp sau khi đèn đỏ được bật lên 5 giây; ảnh thứ 2 được chụp cách ảnh thứ nhất 5 giây tiếp theo. Bằng cách chụp như thế, ảnh thứ hai sẽ bao gồm toàn bộ số xe đang chờ trước đèn đỏ có trong ảnh thứ nhất cộng với số lượng xe vừa chạy đến đèn đỏ trong 5 giây tiếp theo. Thông tin về

sự khác biệt giữa ảnh thứ nhất và ảnh thứ hai chính là cơ sở để xác định lưu lượng xe trên tuyến đường tương ứng.



Hình 3: Mạch giao tiếp và hiển thị đèn tín hiệu

Vấn đề bây giờ là so sánh sự khác biệt giữa ảnh chụp lần thứ nhất và ảnh chụp lần thứ hai. Sự khác biệt giữa hai ảnh này thực chất không phải là lưu lượng xe trên đường, nhưng nó chứa thông tin về sự thay đổi lưu lượng xe tại thời điểm quan sát, do vậy, được gọi tắt là là lưu lượng xe. Hình ảnh thu được từ camera sau khi được chuyển sang mức ảnh xám và áp dụng thuật toán lọc trung vị để khử nhiễu, sẽ được chia thành từng khối có kích thước (10x10) điểm ảnh. Với độ phân giải (320x240) điểm ảnh, hình ảnh thu được từ camera được chia làm 768 khối. Để so sánh sự khác biệt giữa hai khối, ta dựa vào cường độ sáng trung bình của khối đó. Gọi I_k là cường độ sáng tại điểm ảnh thứ k , thì cường độ sáng trung bình của khối ảnh kích thước (10x10) được xác định như (1).

$$I_{tb} = \frac{\sum_{k=1}^{100} I_k}{100} \tag{1}$$





Giải thuật ước lượng lưu lượng xe thông qua việc xác định sự khác biệt về cường độ sáng trung bình giữa 2 khối ảnh, áp dụng cho toàn bức ảnh của 2 ảnh tương ứng, được tóm tắt như (2).

```

MatDoXe=0;
for n=1:768
    if  $I_{tb\_anh1}^{(n)} - I_{tb\_anh2}^{(n)} > 3$  or  $I_{tb\_anh1}^{(n)} - I_{tb\_anh2}^{(n)} < -3$ 
        MatDoXe = MatDoXe + 1;
    end
end
    
```

Minh họa kết quả giải thuật ước lượng lưu lượng xe được cho trên bảng 1. Trường hợp thứ nhất: ảnh chụp lần 1 chứa 4 quả bóng (tượng trưng cho 4 xe), ảnh chụp lần 2 chứa 8 quả bóng, thì sự khác biệt giữa hai ảnh là 208 khối. Trường hợp thứ hai: ảnh chụp lần 1 chứa 4 quả bóng, ảnh chụp lần 2 chứa 12 quả bóng, thì sự khác biệt giữa hai ảnh là 366 khối.

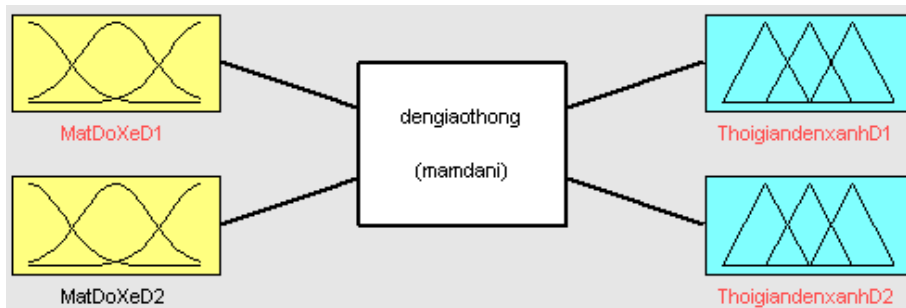
Bảng 1: Minh họa kết quả ước lượng lưu lượng xe lưu thông trên đường

Ảnh chụp lần 1	Ảnh chụp lần 2	Lưu lượng xe
		208
		366

Thực nghiệm cho thấy giải thuật này chạy nhanh hơn khoảng 4 lần so với việc đếm chính xác số lượng xe. Mặc dù, thông tin thu được không cho chúng ta biết về số lượng xe thật sự, nhưng nó liên quan đến lưu lượng xe đang lưu thông trên đường. Sở dĩ có thể chọn giải pháp ước lượng tương đối này là vì chúng ta có thể tận dụng được ưu điểm của bộ điều khiển mờ dùng để xác định chu kỳ đèn xanh. Ưu điểm đó là bộ điều khiển mờ có thể đưa ra quyết định chính xác từ thông số đầu vào “không rõ ràng” như thế này.

2.3 Thiết kế bộ điều khiển mờ

Nhiệm vụ của bộ điều khiển mờ là quyết định chu kỳ đèn xanh tiếp theo dựa vào lưu lượng xe ước lượng được trên 2 tuyến đường. Ngõ vào và ngõ ra của bộ điều khiển mờ được thiết kế như hình 4.



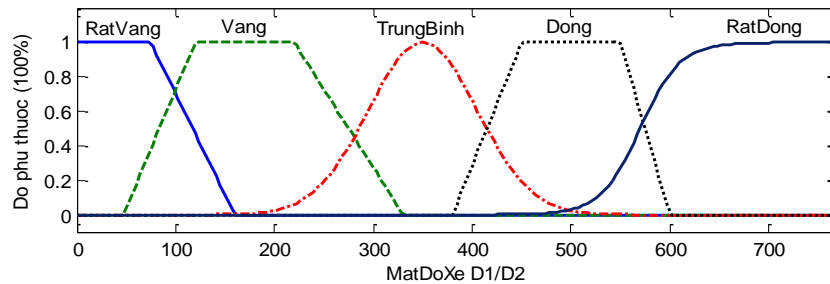
Hình 4: Ngõ vào-ra của bộ điều khiển mờ

Ở đây, lưu lượng xe trên tuyến đường D1 (MatDoXeD1) và trên tuyến đường D2 (MatDoxeD2) có giá trị vật lý biến thiên trong [0, 768] khối, được mờ hóa thành 5 tập mờ chính tắc: RatVang, Vang, TrungBinh, Dong và RatDong như trên hình 5a. Ứng với mỗi giá trị vật lý của lưu lượng xe mà giải thuật ước lượng cung cấp, ta có độ phụ thuộc tương ứng của ngõ vào bộ điều khiển mờ xác định theo (3).

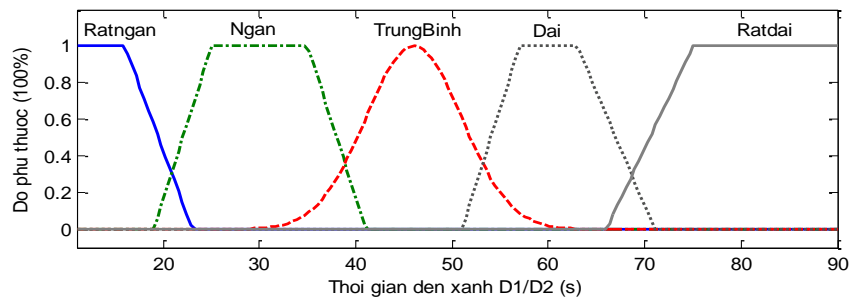
Tương tự, thời gian đèn xanh tuyến đường D1 (ThoigiandenxanhD1) và thời gian đèn xanh tuyến đường D2 (ThoigiandenxanhD2) có giá trị vật lý biến thiên trong [15, 80] giây, được mờ hóa thành 5 tập mờ chính tắc: Ratngan, Ngan, TrungBinh, Dai và Ratdai, hình 5b. Bộ luật điều khiển mờ được thiết lập qua thực nghiệm gồm 25 luật, như Bảng 2. Ta có thể minh họa một luật điều khiển cụ thể như (4).

$$MatDoXe \rightarrow \mu(MatDoXe) = \begin{cases} \mu_{RatVang}(MatDoXe) \\ \mu_{Vang}(MatDoXe) \\ \mu_{TrungBinh}(MatDoXe) \\ \mu_{Dong}(MatDoXe) \\ \mu_{RatDong}(MatDoXe) \end{cases} \quad (3)$$

IF $MatDoXeD1 = RatVang$ **AND** $MatDoXeD2 = RatDong$
THEN $Thoi\ gian\ den\ xanh\ D1 = Ratngan$ **AND** $Thoi\ gian\ den\ xanh\ D2 = Ratdai$ (4)

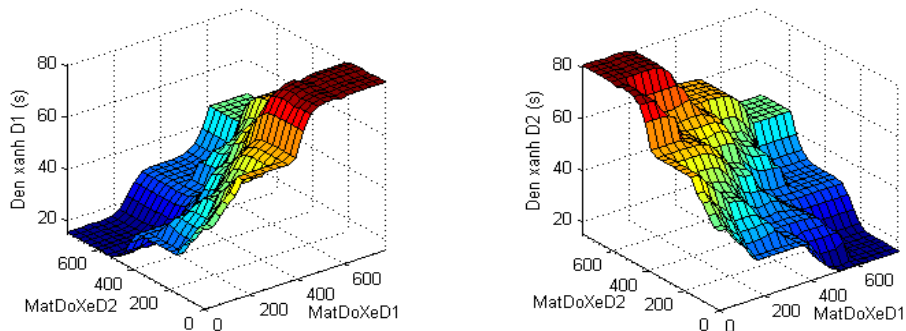


a) Các hàm liên thuộc biểu diễn lưu lượng xe trên 2 tuyến đường



b) Các hàm liên thuộc biểu diễn thời gian đèn xanh cho 2 tuyến đường

Hình 5: Mờ hóa ngõ vào (MatDoXe D1/D2) và ngõ ra (Thoi gian den xanh D1/D2)



Hình 6: Mặt phẳng mờ tương ứng cho đèn xanh 2 tuyến đường

Áp dụng cơ chế suy diễn mờ MAX-MIN và giải mờ theo phương pháp điểm trọng tâm, với bộ luật điều khiển được xây dựng như bảng 2, mặt phẳng mờ tương quan giữa lưu lượng xe trên 2 tuyến đường và thời gian đèn xanh tương ứng được thể hiện như hình 6. Hai mặt phẳng mờ này đối xứng, chứng tỏ luật điều khiển đèn xanh của hai tuyến đường là giống nhau. Ngoài ra, lưu lượng xe trên tuyến đường nào lớn hơn thì thời gian đèn xanh cho tuyến đường đó dài hơn và ngược lại.

Bảng 2: Luật điều khiển

D1 \ D2	RatVang	Vang	TrungBinh	Dong	RatDong
RatVang	D1:TrungBinh D2:TrungBinh	D1:Ngan D2:Dai	D1:Ngan D2:Dai	D1:Ratngan D2:Ratdai	D1:Ratngan D2:Ratdai
Vang	D1:Dai D2:Ngan	D1:TrungBinh D2:TrungBinh	D1:Ngan D2:Dai	D1:Ratngan D2:Dai	D1:Ratngan D2:Ratdai
TrungBinh	D1:Dai D2:Ngan	D1:Dai D2:Ngan	D1:TrungBinh D2:TrungBinh	D1:Ngan D2:Dai	D1:Ngan D2:Dai
Dong	D1:Ratdai D2:Ratngan	D1:Ratdai D2:Ngan	D1:Dai D2:Ngan	D1:TrungBinh D2:TrungBinh	D1:Ngan D2:Dai
RatDong	D1:Ratdai D2:Ratngan	D1:Ratdai D2:Ratngan	D1:Dai D2:Ngan	D1:Dai D2:Ngan	D1:TrungBinh D2:TrungBinh

Bảng 3: Kết quả thực nghiệm

$\frac{MatDoXeD1}{MatDoXeD2} 100(\%)$	Thời gian đèn xanh D1 (s)	Thời gian đèn xanh D2 (s)	Ghi chú
25	76 ± 2	18 ± 2	D1 đông gấp 4 lần D2
33,33	71 ± 2	26 ± 2	D1 đông gấp 3 lần D2
50	53 ± 2	32 ± 2	D1 đông gấp 2 lần D2
66,67	47 ± 2	36 ± 2	D1 đông gấp 1,5 lần D2
100	45 ± 2	45 ± 2	D1 và D2 bằng nhau
150	36 ± 2	47 ± 2	D2 đông gấp 1,5 lần D1
200	33 ± 2	54 ± 2	D2 đông gấp 2 lần D1
300	25 ± 2	72 ± 2	D2 đông gấp 3 lần D1
400	18 ± 2	77 ± 2	D2 đông gấp 4 lần D1

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Giải pháp thiết kế được kiểm chứng trên mô hình thực nghiệm với 9 trường hợp, bao gồm trường hợp lưu lượng xe của 2 tuyến đường là như nhau và các trường hợp lưu lượng xe trên 2 tuyến đường tương ứng chênh lệch nhau lần lượt là 1,5 lần, 2 lần, 3 lần và 4 lần. Trong mỗi trường hợp, phép thử được thực hiện 50 lần. Như vậy, tổng cộng có 450 thực nghiệm đã được tiến hành. Kết quả tương ứng cho trên Bảng 3. Kết quả này cho thấy, khi số phương tiện lưu thông trên 2 tuyến đường gần bằng nhau thì thời gian đèn xanh của 2 tuyến đường chỉ chênh lệch nhau trong khoảng từ 2 giây đến 4 giây. Khi lưu lượng xe có sự chênh lệch thì tuyến đường nào có nhiều phương tiện hơn, thời gian đèn xanh sẽ dài hơn. Thời gian đèn xanh tối đa là 78±2 giây và thời gian tối thiểu là 18±2 giây ứng với

trường hợp lưu lượng xe của tuyến đường này nhiều gấp 4 lần tuyến còn lại. Ngoài ra, kết quả cũng cho thấy vai trò của bộ điều khiển mờ đối với hai tuyến đường là gần giống nhau. Điều này là một thuận lợi cho quá trình lắp đặt, nếu hệ thống có thể triển khai thực tế.

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Việc tận dụng ưu điểm của bộ điều khiển mờ - có thể ra quyết định chính xác từ thông tin đầu vào “không rõ ràng”, nghiên cứu này đã phát triển được giải thuật ước lượng tương đối lưu lượng xe lưu thông trên đường một cách đơn giản, nhưng có thể đáp ứng nhanh chóng và hiệu quả cho việc thiết kế hệ thống đèn giao thông thông minh. Bằng việc xây dựng mô hình thực nghiệm sử dụng các quả bóng nhựa mô phỏng các phương tiện lưu thông, bộ điều khiển mờ đã được kiểm nghiệm một cách nhanh chóng, bởi thao tác thực nghiệm dễ dàng nhờ động thái lẩn nhanh của các quả bóng. Việc ứng dụng vi điều khiển ATMEL ATmega16 cho phép thiết kế mạch giao tiếp máy tính và kiểm soát hiển thị đèn tín hiệu khá nhỏ gọn và linh hoạt trong khâu lập trình. Nếu hệ thống được thử nghiệm trong điều kiện thực tế, việc xây dựng quy trình sản xuất công nghiệp hệ thống đèn giao thông thông minh này là hoàn toàn khả thi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- AdvanTech, 2007. Digital Traffic Light Detection System, địa chỉ:
http://www.advantech.gr/Network/applications.aspx-doc_id=%7B5DBAC008-3DCF-435A-A472-CDA6D292CB6.htm
- Ảnh Nguyệt và Thu Hồng, 2008. 48 đèn tín hiệu giao thông mắc chứng “nan y”, Báo Người Lao Động, số ra ngày 20/10/2008.
- Kulkarni, G.H.; Waingankar, P.G., 2007. Fuzzy logic based traffic light controller, Proc. IEEE Conf. ICIIS 2007, Issue 9-11 Aug. 2007 pp.107 – 110.
- Lê Mỹ, 2007. Gần 50 chốt đèn giao thông được lắp hệ thống cảm biến, Báo Dân Trí, số ra ngày 17/12/2007.
- Lin, H., K.M. Aye, H.M. Tun, Theingi and Z.M. Naing, 2008. Design and Construction of Intelligent Traffic Light Control System Using Fuzzy Logic, Proc. AIP Conf., Vol. 1052, pp. 237-239.
- Ngọc Ân, 2004. Đèn tín hiệu giao thông mới: “Phơi nắng” 3,5 triệu đôla!, Báo Tuổi Trẻ, số ra 21/12/2004.
- Tan K. K., M. Khalid and R. Yusof, 1996. Intelligent Traffic Lights Control By Fuzzy Logic, Malaysian Journal of Computer Science, Vol. 9 No. 2, pp. 29-35.
- Wiering M., J.v. Veenen, J. Vreeken and A. Koopman, 2004. Intelligent Traffic Light Control, Technical report UU-CS-2004-029, Utrecht University, The Netherlands.