

NGHIÊN CỨU LẬP MÔ HÌNH TÍNH TOÁN VÀ CHỈNH ĐỊNH CHU KỲ ĐÈN GIAO THÔNG THEO THỜI GIAN THỰC (RTSS) TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

RESEARCHING AND MATHEMATICAL MODELING OF REAL-TIME SIGNAL SETTING IN HO CHI MINH CITY

Nguyễn Chí Hùng¹, Trương Tấn¹, Nguyễn Tùng Linh²

¹Trường Đại học Sài Gòn, ²Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 10/5/2018, Ngày chấp nhận đăng: 2/7/2018, Phản biện: TS. Nguyễn Văn Tiềm

Tóm tắt:

Bài báo trình bày phương pháp lập mô hình toán học để tính toán chu kỳ đèn giao thông tối ưu theo thời gian thực nhằm giảm kẹt xe. Dựa trên lưu lượng, mật độ phương tiện giao thông trên đường và khả năng đáp ứng của các giao lộ cũng như có sự kết nối với các ngã tư lân cận để tính toán chu kỳ đèn hiệu quả hơn. Kết quả tính toán sẽ được đánh giá, so sánh với tình hình giao thông thực tế tại một số con đường trong nội ô Thành phố Hồ Chí Minh. Khi áp dụng mô hình mà nhóm tác giả thực hiện thì thời gian giải phóng hàng đã giảm đến hơn 80% so với thực tế và không còn tình trạng kẹt xe tại các nút khảo sát.

Từ khóa:

Tín hiệu theo thời gian thực (RTSS), chiều dài hàng chờ, mật độ giao thông, ngã tư, đèn giao thông.

Abstract:

The paper presents a method of mathematical modeling for optimal determine the real time signal setting (RTSS) of the traffic light cycle in order to reduce congested situation. Bases on the rate flow, the traffic density on the line, the intersection capacity and linking to near intersections as well, in order to compute the cycle of traffic light more accurately. The result was assessed and compared to current traffic situation in some streets in Ho Chi Minh City.

Keywords:

Real time Signal Setting (RTSS), length of queue, traffic density, intersection, traffic light.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những cố gắng đầu tiên là nghiên cứu thời gian chờ ở các đèn tín hiệu có chu kỳ cố định, được nghiên cứu bởi Clayton [1]. Ông xây dựng mô hình mà cả hai dòng xe đến và đi ở tại đèn tín hiệu giao thông trong một khoảng thời gian cố định duy nhất và giả định rằng

dòng xe được giải phóng hết khi ở pha đèn xanh, miễn là lượng xe đến không vượt quá khả năng chứa của điểm giao cắt. Như vậy mô hình không còn phù hợp khi lượng xe đến quá lớn. Mô hình Clayton cho ra quy luật tốt để tính tỷ lệ chu kỳ pha đèn xanh. Nhưng không đưa ra luật tính tổng chiều dài chu kỳ.

Winsten [2] dùng mô hình với một lượng xe rời đi là không đổi (như Clayton), nhưng với một phân bố nhị thức số lượng phương tiện đến. Các thay đổi về lượng xe đến tăng nhanh làm tăng thời gian chờ. Dự báo về thời gian chờ theo mô hình của Winsten cao hơn mô hình của Clayton và gần hơn, nhưng vẫn còn thấp một chút, điều này được chứng minh bằng thực nghiệm. Đối với mô hình nhị thức của Winsten cho một tỷ lệ phân bố lượng phương tiện thấp hơn 1 rất nhiều và giảm dần về 0. Trong khi đó, ở các đô thị thì tỷ lệ này lớn hơn 1 và tăng theo tổng số lượng phương tiện.

Webster [3] và Newell [4] đã đưa ra một phương pháp tính thời gian chờ tốt hơn nhiều bằng cách dùng các mô hình dự đoán lượng xe đến theo phương pháp xác suất Poisson cho ra một tỷ lệ phân bố phương tiện gần bằng 1.

Thamizh Arasan Venkatachalam và Dhivya Gnanavelu [5] đã đưa ra khái niệm mật độ chiếm chỗ của xe theo thời gian trên một phạm vi diện tích khảo sát được lắp đặt các thiết bị cảm biến, từ đó xây dựng nên một mô hình toán học mô tả mối quan hệ giữa vận tốc của dòng xe và diện tích chiếm chỗ dựa trên điều kiện giao thông của Ấn Độ, rất tương đồng với Việt Nam.

Tất cả các mô hình trên chỉ xét tại một điểm giao nhất định, chưa liên kết với các điểm giao khác, chưa tính đến khả năng lưu thông và khả năng chứa phương tiện của các điểm giao liên kề. Ngoài ra các mô hình này đều xét ở điều kiện các xe đến ngã tư được giải phóng hoàn toàn trong một chu kỳ, điều này không còn

đúng với tình hình giao thông thực tế tại Thành phố Hồ Chí Minh hiện nay.

Do đó, bài báo này sẽ xác định thời gian giải phóng hàng tối ưu, cũng như chu kỳ đèn tín hiệu thay đổi theo lưu lượng xe thực tế, dựa trên khả năng giải phóng phương tiện tại điểm giao nhau và khả năng chứa phương tiện tại điểm giao đó, có liên kết với các điểm giao khác. Đồng thời tính đến trường hợp hàng chờ không giải phóng hết trong một chu kỳ và tính toán thời gian giải phóng hàng chờ hiệu quả nhất.

2. TÍNH TOÁN CHU KỲ ĐÈN

2.1. Cơ sở tính toán

Dòng xe lưu thông trên đường có những thông số như: Lưu lượng xe (q); tốc độ trung bình của dòng phương tiện (v); mật độ phương tiện lưu thông trên đường (k).

Mối quan hệ giữa lưu lượng (q) và mật độ (k) [5]:

- Khi $k = 0$ thì $q = 0$ vì không có xe lưu thông; khi xe tham gia tăng lên thì k tăng, q cũng tăng theo; khi k tăng vượt điểm lưu lượng cực đại (q_{max}), thì q sẽ giảm. Nếu ngày càng nhiều phương tiện tham gia lưu thông và đạt đến điểm bão hòa thì xe không thể di chuyển được nữa, khi đó $q = 0$, $k = 0$ (vì không có xe) hoặc $k = k_{max}$ (vì bão hòa).

Xét mối quan hệ giữa lưu lượng (q) và vận tốc (v):

- Khi $q = 0$ (không có xe trên đường hoặc xe bão hòa), thì $v = 0$;
- Khi $q = q_{max}$ thì $v \in [0, v_{free}]$;

Xét mối quan hệ tốc độ (v) và mật độ (k):

Khi k tăng thì v giảm; k giảm thì v tăng; khi $k = 1$ thì $v = 0$; khi k tiến đến 0 thì v tiến đến ∞ :

$$v = \frac{1}{k} - 1 \quad (1)$$

Các ký hiệu:

k : mật độ xe, là diện tích xe chiếm chỗ trên một diện tích mặt đường;

A_v : tổng diện tích phương tiện giao thông trong một khoảng thời gian khảo sát (m^2);

A_r : tổng diện tích mặt đường khảo sát (m^2);

a_{tb} : diện tích trung bình của một xe (m^2);

n_i : tổng số phương tiện loại i trong thời gian khảo sát;

N : tổng số phương tiện trong thời gian khảo sát;

q : lưu lượng xe đến trong một giờ (xe/h);

N_a : tổng lượng xe đến ngã tư trong thời gian t ;

N_d : tổng lượng xe đi khỏi ngã tư trong thời gian t ;

t : thời gian khảo sát (h);

a_{vi} : diện tích phương tiện loại i (m^2);

W : chiều rộng mặt đường (m);

L : chiều dài một đoạn đường giữa 2 ngã tư (m);

c : chu kỳ đèn tín hiệu;

p : lượng xe qua ngã tư ở trạng thái bão hòa trong một chu kỳ;

s : Lượng xe thoát khỏi ngã tư cao nhất trong 1 giờ (xe/h);

r : thời gian đèn đỏ (s);

g : thời gian đèn xanh hiệu dụng (s).

$$\text{Đặt: } k = \frac{A_v}{A_r} \quad (2)$$

Trong đó:

Diện tích xe chiếm chỗ:

$$A_v = \sum_i n_i a_{vi} \quad (2)$$

Diện tích mặt đường:

$$A_r = W.L \quad (3)$$

$$A_v = a_{tb} \sum_i n_i = N_a a_{tb} \quad (4)$$

$$N_a = \sum_i n_i \Rightarrow A_v = N_a a_{tb} = k A_r$$

$$\text{hay } N_a = \frac{k A_r}{a_{tb}}, \Rightarrow a_{tb} = \frac{k A_r}{N_a} \quad (5)$$

$$\text{Đặt } k_1 = \frac{k W}{a_{tb}} \quad (6)$$

$$q = \frac{N_a}{t} = k_1 V_{tb}, \quad (7)$$

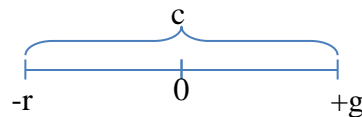
V_{tb} : vận tốc trung bình của dòng xe.

Lượng xe thoát khỏi ngã tư trong một thời

gian một chu kỳ C , $p = \int_0^C s dt$

$$\text{hay } s = \frac{dp}{dt} \quad (8)$$

Nếu gọi điểm bắt đầu đèn xanh là 0 thì ta chia chu kỳ tín hiệu giao thông như sau:



Hình 1. Chu kỳ tín hiệu

Như vậy lượng xe qua ngã tư được tính như sau (xét 01 chu kỳ):

$$p = \begin{cases} 0, & -r \leq t < 0 \\ sg, & 0 < t \leq g \end{cases} \rightarrow p = sg \quad (9)$$

Khi đó lưu lượng xe đến ngã tư được tính:

$$q = \frac{dN_a}{dt} \quad (10)$$

Như vậy tổng lượng xe đến ngã tư trong

một chu kỳ là:

$$N_a = \int_{-r}^g q dt \rightarrow N_a = qc \quad (11)$$

Nếu $sg < qc$ thì hàng xe chờ không được giải phóng hết trong một chu kỳ. Như vậy hàng chờ sẽ dài thêm sau mỗi chu kỳ.

2.2. Tính chu kỳ đèn tối ưu

Chiều dài hàng chờ (L) luôn thay đổi theo thời gian và phụ thuộc vào lượng xe lưu thông trên đường. L sẽ tăng khi đèn đỏ và giảm khi đèn xanh. Xét ở một khoảng thời gian dt thì chiều dài hàng hình thành là dl , khi đó:

$$dl = \frac{q}{k_1} dt \rightarrow L = \int_0^t \frac{q}{k_1} dt \quad (12)$$

Nếu xét trong một khoảng thời gian t thì có một lượng xe đến (N_q) và một lượng xe đi (N_d) được tính như sau:

$$N_a = \int_0^t q dt = qt \quad (13)$$

Vì số lượng xe qua ngã tư không liên tục do phải dừng đèn đỏ nên nó được tính như sau:

$$N_d = \frac{sg}{c} t = Qt \quad (14)$$

Trong đó, Q là khả năng của ngã tư, hay lượng xe thoát khỏi ngã tư trong 1 chu kỳ

$$Q = \frac{sg}{c} \quad (15)$$

Nếu xe đến vượt quá xe đi trong một thời gian t thì $(qt - Qt) > 0$ là lượng xe chờ trước ngã tư trong khoảng thời gian t . Để lượng xe tồn đọng này được giải thoát trong một chu kỳ thì

$$(qt - Qt) = QC \text{ và } t = \frac{Q}{q-Q} C \quad (16)$$

Đây là thời điểm mà số lượng xe tồn đọng (trong khoảng thời gian t) được giải

phóng hoàn toàn trong một chu kỳ đèn tín hiệu tiếp theo. Như vậy để giải phóng hàng chờ (ở một pha) trong một chu kỳ sau thời gian t , phải tăng thời gian đèn xanh ở pha này thêm 1 chu kỳ. Nếu không thì hàng chờ ngày càng kéo dài ra làm cho tắc nghẽn giao thông. Tuy vậy, việc này làm cho hàng chờ của pha còn lại sẽ tăng lên. Nếu muốn hàng chờ pha còn lại không tăng thêm thì phải phối hợp với ngã tư lân cận của pha này để hạn chế xe đến.

Nếu chiều dài hàng chờ vẫn nhỏ hơn chiều dài của đoạn đường đang xét thì có thể chấp nhận tăng hàng chờ của pha này để có thời gian giải phóng cho pha kia và lần lượt như vậy cho đến khi giải phóng xe cho cả 2 pha ở một ngã tư. Điều này có nghĩa luân phiên thay đổi chu kỳ nhịp nhàng giữa các pha và các ngã tư lân cận.

Như vậy phải tính toán đến khả năng của các ngã tư như chiều dài đoạn đường tại các ngã tư (l), lượng xe thoát khỏi các ngã tư trong 1 chu kỳ (Q), các thông số này sẽ không giống nhau ở các ngã tư.

Nếu xét một thời gian t thì từ (17) suy ra

$$t_d = \left(\frac{q}{Q} - 1\right) t \quad (17)$$

t_d là thời gian cần để giải phóng hết hàng chờ được hình thành sau một thời gian t . Nhiệm vụ quan trọng lúc này là xác định t_d bao nhiêu là tối ưu nhất, điều đó phụ thuộc vào điều kiện giao thông ở từng thời điểm cụ thể.

Nếu xét các xe tại điểm thứ j (gọi tắt là xe thứ j) trong hàng chờ mà cách đèn tín hiệu một đoạn l_j và nếu gọi t_j (thời gian trễ) là thời gian tính từ đèn xanh xuất hiện đến

khi xe thứ j này bắt đầu dịch chuyển thì vận tốc trung bình của dòng xe (V) đang đến ngã tư được tính như sau:

$$V = \frac{l_j}{t_j} \quad (18)$$

Vậy với vận tốc V thì các xe ở vị trí j mất một khoảng thời gian t_j để đi đến ngã tư cách chúng một đoạn l_j .

Do đó, để các xe ở vị trí j vượt qua khỏi ngã tư thì cần khoảng thời gian bằng $2t_j$ kể từ khi đèn xanh (tại mốc $t = 0$).

Từ lập luận này, nếu xét trong khoảng thời gian $t = g$ thì chiều dài đoàn xe được giải phóng (l_d) trong một chu kỳ được tính

$$l_d = \frac{1}{2} Vg \quad (19)$$

Hay chiều dài hàng được giải phóng trong thời gian t là:

$$l_d = \frac{Vg}{2c} t = L_d t \quad (20)$$

Trong đó: $L_d = \frac{Vg}{2c}$ (21)

L_d là chiều dài hàng được giải phóng trên 1 chu kỳ

Khi đó chiều dài dịch chuyển của dòng xe $l_m = 2l_d$, và chiều dài hàng được dịch chuyển trong một chu kỳ, $l_c = VC$, chiều dài dịch chuyển trong thời gian t là: $l_a = Vt$. Ở đây giả thiết vận tốc dòng xe (V) không đổi trong suốt chu kỳ.

Nếu một hàng chờ tại ngã tư có chiều dài là L thì thời gian để giải phóng hết là:

$$t_d = 2 \frac{L}{V} \quad (22)$$

Mặt khác:

$$L = l_a - l_d \quad (23)$$

Trong đó l_a là chiều dài hàng xe đến.

Từ (6) suy ra:

$$l_a = \frac{N_a \cdot a_{tb}}{kW}, l_d = \frac{N_d \cdot a_{tb}}{kW} \quad (24)$$

$$N_a(t) = qt \quad \forall t$$

Từ (15) suy ra:

$$N_d(t) = \begin{cases} nQ & \text{với } nC < t \leq nC + r \\ & \text{(đèn đỏ)} \\ Qt & \text{với } nC + r < t \leq (n+1)C \\ & \text{(đèn xanh)}, \\ \forall n = \text{int}\left(\frac{t}{C}\right) \end{cases} \quad (25)$$

Từ (24), (25), (26):

$$L = \begin{cases} (qt - nQ) \frac{a_{tb}}{k_d W} & \text{với } nC < t \leq nC + r \\ & \text{(đèn đỏ)} \\ (qt - Qt) \frac{a_{tb}}{k_x W} & \text{với } nC + r < t \leq (n+1)C \\ & \text{(đèn xanh)} \\ \forall n = \text{int}\left(\frac{t}{C}\right) \end{cases} \quad (26)$$

Trong đó: k_d, k_x lần lượt là mật độ xe lúc đèn đỏ và đèn xanh và $k_d > k_x$ (k_d được xem như bằng 1, vì khi đó xe dừng tại đèn đỏ).

Từ (27), tốc độ tạo hàng chờ

$$\frac{dL}{dt} = \begin{cases} \frac{q a_{tb}}{k_d W}, & \text{(đèn đỏ)} \\ (q - Q) \frac{a_{tb}}{k_x W}, & \text{(đèn xanh)} \end{cases} \quad (27)$$

Ở đây có 2 giả thiết xảy ra, $q < s$ và $q > s$. Theo điều kiện thông thường thì $q < s$ vì như vậy giao thông mới có thể điều tiết, còn ngược lại thì mọi cố gắng sẽ không thể giải quyết vì cơ sở hạ tầng giao thông không đáp ứng được nhu cầu, nghĩa là giao thông tê liệt hoàn toàn.

$$k_c < \frac{q}{s} < 1 \text{ với } k_c = \frac{g}{c} < 1 \text{ (hệ số chu kỳ)} \\ \text{và } qc - gs > 0 \quad (28)$$

Đây là điều kiện để hình thành hàng chờ khi hết tín hiệu đèn xanh mà vẫn có thể điều tiết lưu thông không gây ùn tắc và

cho biết giới hạn cho phép của dòng xe lưu thông đến và đi tại một ngã tư.

s gần như cố định suốt thời gian khảo sát vì nó liên quan đến khả năng của nút giao thông, hay nói cách khác s liên quan đến cơ sở hạ tầng, s có xu hướng giảm khi lưu lượng giao thông lớn trong giờ cao điểm. Ngược lại, q sẽ thay đổi theo thời gian, nó tùy thuộc vào lưu lượng phương tiện tham gia giao thông trong từng thời điểm cụ thể.

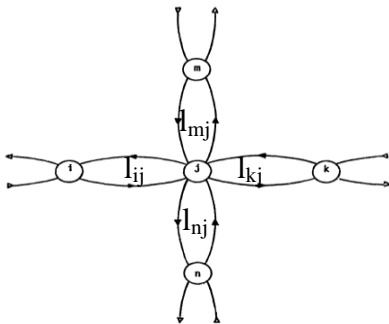
Từ (6), (27):

$$L = l \left(1 - \frac{sg}{qC^2} \right), k=1 \text{ khi đèn đỏ} \quad (29)$$

l : chiều dài của đoạn đường đang xét (m).

khi $L = l$ (chiều dài hàng chờ bằng chiều dài đoạn đường đang xét.

$$C_{min} = \sqrt{\frac{sg}{q}} \quad (30)$$



Hình 2. Nút và nhánh tại một ngã tư

Xét tại một nút giao thông j như hình 2 [6].

l_{xj} : chiều dài đoạn đường từ nút giao x lân cận đến nút j . $x = [i, m, k, n]$; $l = [l_{ij}, l_{mj}, l_{kj}, l_{nj}]$;

l_{aij} : chiều dài hàng xe đến tại nút j theo hướng từ i đến j ; $l_a = [l_{aij}, l_{amj}, l_{akj}, l_{anj}]$;

l_{djk} : chiều dài hàng xe đi khỏi nút j theo hướng từ j đến k ; $l_d = [l_{dij}, l_{dmj}, l_{dkj}, l_{dnj}]$;

L_{ij} : chiều dài hàng xe chờ tại nút j theo hướng từ i đến j ;

Q_{ij} : lượng xe thoát khỏi nút j theo hướng từ i đến j trong 1 chu kỳ;

q_{ij} : lượng xe đến nút j theo hướng từ i đến j trong một giờ (xe/h);

Gọi τ_{ij} là khoảng thời gian (s) đi từ i đến j

Với điều kiện: $L_{ij} < l_{ij}$,

$$q_{ij}C_j = \alpha_{ij}Q_{ij}C_i \quad (31)$$

Trong đó $\alpha_{ij} < 1$ là tỷ lệ xe đi từ i đến j trên tổng số xe ra khỏi i .

C_j : chu kỳ tín hiệu tại nút thứ j (s)

$$L_{ij} = \frac{1}{k_1} \int_0^t (q_{ij} - Q_{jk}) dt \quad (32)$$

$$g_{jk} = g_{ij} = r_{nj} = r_{mj} \quad (33)$$

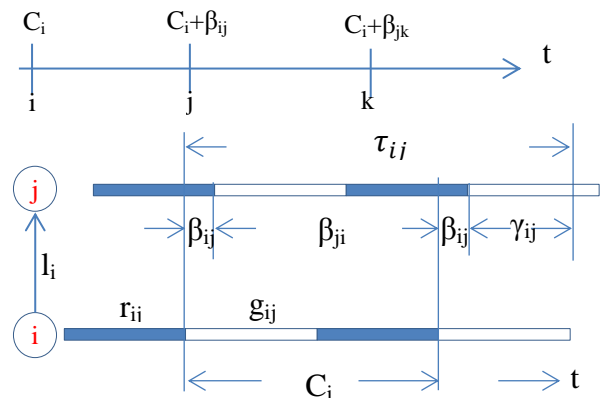
$$L_{ij} = l_{dij} - l_{djk} \quad (34)$$

Nếu lấy thời gian t tại nút i làm gốc để xem xét thì thời gian tại các nút lân cận sẽ sai lệch so với i một giá trị $\pm\beta$ (thời gian trễ) tương ứng.

Khi đó:

$$t_j = t + \beta_{ij} \quad (35)$$

β_{ij} là thời gian trễ giữa 2 chu kỳ của nút i và j .



Hình 3. Sơ đồ thời gian tại các nút lân cận

$$\beta_{ij} + \beta_{ji} = C_i \quad (36)$$

Gọi τ_{ij} là khoảng thời gian (s) xe đi từ i đến j với khoảng cách l_{ij} (m), và vận tốc V_{ij} (m/s).

$$\tau_{ij} = \frac{l_{ij}}{V_{ij}} \quad (37)$$

Ta có:

$$l_{ij} = \beta_{ij}v_{ij} + L_{ij} \quad (38)$$

v_{ij} : tốc độ hình thành hàng tại nút j .

Theo (28):

$$v_{ij} = \frac{q_{ij}a_{tb}}{k_d W} = \frac{q_{ij}}{k_1} \quad (39)$$

Có 2 khái niệm tốc độ dòng xe (V) và tốc độ hình thành hàng (v) là khác nhau, $v < V$.

Hàng chờ tại nút j trong thời gian τ_{ij} được tính theo (27):

$$L_{ij} = \frac{1}{k_1} \int_0^{\tau_{ij}} (q_{ij} - Q_{jk}) dt \quad (40)$$

và thời gian giải phóng hết hàng chờ trong thời gian τ_{ij} theo (18) là

$$t_{dij} = \tau_{ij} \left(\frac{q_{ij}}{Q_{jk}} - 1 \right) \quad (41)$$

Lượng xe đi từ i đến j trong thời gian τ là:

$$N_{aij} = Q_{dij} \cdot \tau_{ij} = q_{ij} \cdot \tau_{ij} \quad (42)$$

$$\tau_{ij} = nC_j + \beta_{ij} + \gamma_{ij} \quad (43)$$

γ_{ij} là thời gian xe đến j tại mỗi chu kỳ C_j với

$$-r_{jk} < \gamma_{ij} \leq g_{jk} \quad (44)$$

Từ (16), (42), (44) suy ra:

$$t_{dij} = \frac{n_{ij}q_{ij}}{s_{ij}g_{ij}} C_j^2 + \left[(\beta_{ij} + \gamma_{ij}) \frac{q_{ij}}{s_{ij}g_{ij}} - n_{ij} \right] C_j - (\beta_{ij} + \gamma_{ij}) \quad (45)$$

$$\frac{dt_{dij}}{dc} = 0, \text{ thì } C_j = \frac{s_{ij}g_{ij}}{2q_{ij}} - (\beta_{ij} + \gamma_{ij}) \frac{1}{2n_{ij}} \quad (46)$$

$$\text{Nếu } g_{ij} = \delta_{ij}C_j \quad (47)$$

δ_{ij} là tỷ lệ thời gian đèn xanh trong một chu kỳ C_j ($\delta_{ij} < 1$).

Từ (44), (47) và (48)

$$C_j = \frac{\tau_{ij}q_{ij}}{n_{ij}(\delta_{ij}s_{ij} - q_{ij})} \quad (48)$$

$$\text{Vì } C_j > 0, \text{ nên } \frac{s_{ij}}{q_{ij}} > \frac{1}{\delta_{ij}} > 1 \quad (49)$$

Một cách tổng quát,

$$C_{max} = \frac{\tau q}{n(\delta s - q)} \quad (50)$$

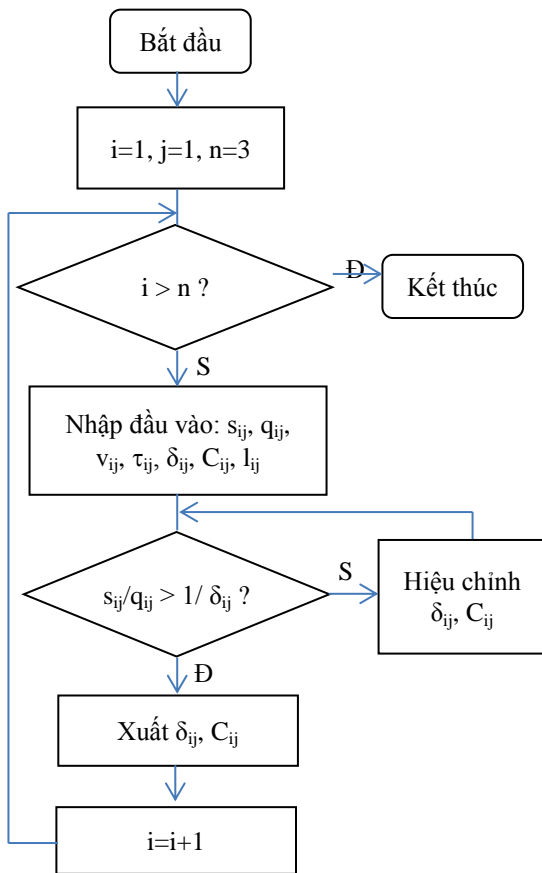
Như vậy theo (49), chu kỳ C_j tại nút j phụ thuộc vào chiều dài của nhánh phía trước nó (l_{ij}) và vận tốc (V_{ij}) của dòng xe thể hiện qua τ và n , đồng thời phụ thuộc vào lưu lượng xe đến (q_{ij}) và đi (s_{ij}) tại nút này, sao cho đảm bảo theo điều kiện (50). Như vậy nếu q_{ij} và s_{ij} thay đổi thì δ_{ij} cũng phải thay đổi theo để đảm bảo không bị tắc đường tại nút j . Điều này không được áp dụng cho các ngã tư hiện nay tại Thành phố Hồ Chí Minh và dẫn đến tắc nghẽn giao thông ở giờ cao điểm khi mà lượng xe đến quá lớn, phá vỡ điều kiện (50) vì chu kỳ đèn không đổi.

Một điều nữa, là chu kỳ đèn hiện nay tại các giao lộ chưa tính đến l_{ij} , thông số nói lên khả năng chứa (chịu đựng) quá tải lưu lượng xe đến của mỗi nhánh tại giao lộ, nơi mà chiều dài tại mỗi nhánh khác nhau, nghĩa là khả năng chịu đựng quá tải khác nhau. Công thức (49) phản ánh được điều đó, căn cứ vào l_{ij} để điều tiết sao cho tận dụng được khả năng của từng nhánh để chia sẻ cho các nhánh còn lại một cách hài hòa nhất, điều đó góp phần làm giảm tắc nghẽn cục bộ ở mỗi nhánh và giảm ùn tắc xảy ra.

Tại mỗi nút giao thông luôn có 2 pha,

theo (51) thì tại nút này sẽ có hai giá trị C cho mỗi pha. Do đó C sẽ được tính theo pha nào có C ngắn hơn được chọn. Hay nói cách khác ưu tiên tính toán C theo pha chứa nhánh có khả năng chịu quá tải kém nhất.

3. LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT



Hình 4. Lưu đồ thuật toán

Việc xác định chu kỳ C và hệ số chu kỳ δ sao cho tối ưu được tính toán và lập trình dựa trên các thông số đầu vào như: lưu lượng xe đến (q), lưu lượng xe đi (s), vận tốc của dòng xe (v), chiều dài của đoạn đường (l) và được mô tả theo (51), đồng thời có xét đến khả năng của các ngã tư lân cận và thể hiện dưới dạng lưu đồ thuật toán như hình 4.

4. THỰC NGHIỆM

Khảo sát tại ngã tư Nguyễn Chí Thanh - Lý Thường Kiệt tại Quận 10, Thành phố Hồ Chí Minh. Số liệu thực tế như bảng 1.

Bảng 1. Số liệu khảo sát thực tế nhánh đường Lý Thường Kiệt

Giờ khảo sát	Số lượng	Số lượng đến	Số lượng vượt	V (m/s)
Sáng				
07h40	159	109	104	5,14
07h45	118	81	77	4,71
07h50	169	84	80	4,42
08h00	126	64	60	4,24
08h09	156	89	85	3,92
Trưa				
11h40	140	70	66	5,98
11h45	108	70	67	4,37
11h55	136	80	78	5,63
12h07	101	63	62	4,78
Chiều				
16h45	154,00	64	60	2,08
16h53	208,00	91	86	5,27
16h59	116,00	64	60	4,03
17h10	198,00	111	107	3,31
17h16	142,00	82	78	4,13
Chu kỳ đèn (s)	$C = 74$	Xanh: 29s	Vàng: 3s	Đỏ: 42s
Thời gian offset (Toff): độ lệch đèn xanh giữa 2 ngã tư liên kế				2s
Khoảng cách giữa 2 ngã tư (m)				160 m

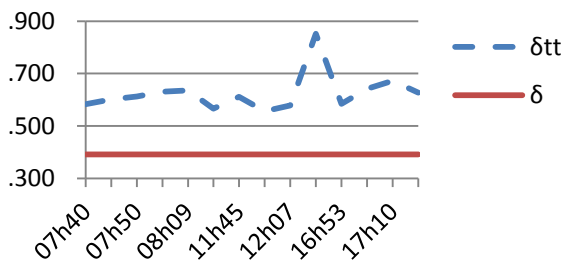
Tính toán dựa trên giá trị khảo sát thực của bảng 1, với $n = 1$ vì khoảng cách giữa 2 ngã tư lân cận chưa đến 1 chu kỳ, kết quả tính được như bảng 2.

Bảng 2. Số liệu tính toán nhánh đường Lý Thường Kiệt

Thời gian	q (xe/h)	S (xe/h)	τ (s)	δ	C tính toán	t_d thực
Sáng	4154	10080	35,66	0.39	-661,99	93
Trưa	3442	8472	30,83	0.39	-769,31	80
Chiều	4009	9708	42,49	0.39	-764,35	85

Như vậy, với giá trị thực tế q, s, τ, δ và n , từ công thức (51), tính được giá trị C như bảng 2, điều đó có nghĩa chu kỳ đèn tại nút giao thông này không phù hợp và đó là lý do tại đây luôn xảy ra kẹt xe. Vì chu kỳ đèn đã vi phạm điều kiện (50).

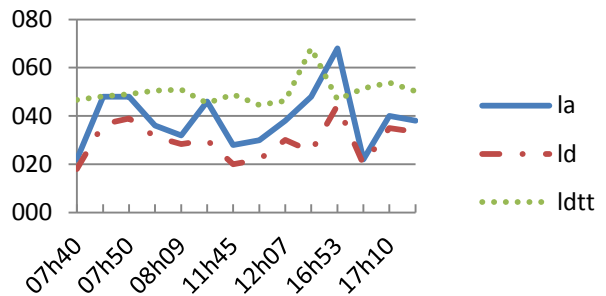
Để điều chỉnh chu kỳ cho phù hợp và giảm ùn tắc thì từ (51) tính lại δ sao cho thỏa điều kiện (50). Kết quả tính toán như hình 5.



Hình 5. Hệ số chu kỳ trước (δ) và sau (δ_{tt}) khi áp dụng mô hình vào thực tế

δ sẽ thay đổi theo lưu lượng của phương tiện tham gia giao thông, nhằm giảm ùn tắc và giải phóng được hàng chờ theo thời

gian thực. Cụ thể khi xe đến tăng lên thì δ cũng tăng theo tương ứng, sao cho thỏa mãn điều kiện (50). Tại thời điểm 16h45', $\delta = 0,85$ vì lượng xe đến lớn và tốc độ di chuyển của dòng xe chậm nên cần nhiều thời gian hơn để giải phóng hàng chờ.



Hình 6. Chiều dài hàng chờ và chiều dài hàng được giải phóng

Sau khi áp dụng mô hình vào thực tế, chiều dài hàng được giải phóng (l_{dt}) đã tăng lên và lớn hơn chiều dài hình thành hàng (l_a) và hầu như chiều dài hàng chờ đã được giải phóng hoàn toàn. Duy chỉ có một điểm tại 16h53' hàng chờ không được giải phóng vì tốc độ di chuyển của phương tiện quá chậm do xung đột dòng xe giữa các pha và ý thức người tham gia giao thông không chấp hành đèn tín hiệu dẫn đến làm tắc nghẽn như được trình bày ở hình 5.

5. KẾT LUẬN

Mô hình đã thiết lập đáp ứng được tình hình giao thông thực tế tại Thành phố Hồ Chí Minh với nhiều loại phương tiện tham gia giao thông và giảm được chiều dài hàng chờ tại mỗi chu kỳ vì có sự liên kết với các ngã tư lân cận, tận dụng triệt để khả năng của các nhánh tại các ngã tư liền kề.

Nhược điểm của mô hình là chưa tính đến hành vi của người tham gia giao thông và chưa xét đến người đi bộ. Số lượng chạy thực nghiệm còn ít so với quy mô của Thành phố Hồ Chí Minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.J.H. Cayton, *Road traffic calculations*. J. Instn Civ. Engrs, 1940.
- [2] C.B. Winsten, *Studies in the Economics of Transportation* by M. Beckmann, C. B. McGuire and C. B.Winsten, Yale University Press, particularly, 1956.
- [3] F.V. Webster, *Traffic signal settings*, Road Res. Tech. H.M.S.O, 1958.
- [4] G.F. Newell, *Queues for a fixed-cycle traffic light*. Ann. Math. Statist, 1960.
- [5] T.A. Venkatachalam and D. Gnanavelu, *Concentration of Heterogeneous Road Traffic*, Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras,, India, 2016.
- [6] N. Carthner, et al, *Optimization of Traffic Signal Settings in networks* by Mixed - Integer Linear Programming, p.5-10, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 1974.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Chí Hùng tốt nghiệp Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh ngành điện khí hóa và cung cấp điện năm 2000, nhận bằng Thạc sĩ năm 2006 ngành thiết bị, mạng và nhà máy điện; nhận bằng Tiến sĩ năm 2015 ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Khoa học ứng dụng Cao Hùng, Đài Loan (Trung Quốc).

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, chất lượng điện năng, ứng dụng SFCL vào hệ thống điện, lưới điện thông minh, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, khí cụ điện, ứng dụng thành phố thông minh.



Tác giả Nguyễn Tùng Linh tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội ngành hệ thống điện năm 2005, nhận bằng Thạc sĩ năm 2010; bảo vệ luận án Tiến sĩ ngành kỹ thuật điều khiển tự động hóa năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, ứng dụng AI cho hệ thống điện, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, lưới điện phân phối.