Họ tên sinh viên: Nguyễn Quang Huy
Mã số sinh viên: 20151690
Lớp: KSTN-CNTT-K60

Intuitionistic Fuzzy Model of Traffic Jam Regions and Rush Hours for the Time Depedent Traveling Salesman Problem

Nguyễn Quang Huy[1]

[1-2] Viện công nghệ thông tin & Truyền thông, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội,

Giảng viên hướng dẫn Phạm Văn Hải

TÓM TẮT— *Bài toán người du lịch là một trong những bài toán tìm kiếm trên đồ thị phổ biến nhất, thuộc loại NP-khó. Rất nhiều nhà nghiên cứu đã đưa ra các hướng tiếp cận, áp dụng công nghệ để tìm ra lời giải tối ưu hay bán tối ưu. Hơn nữa, bài toán còn có nhiều mở rộng, biến thể từ bài toán gốc. Bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian (Time Dependent Traveling Salesman Problem (TD TSP)) là một trong những biến thể đầu tiên và phổ biến nhất, mô tả vấn đề trong thực tế, ảnh hưởng bởi điều kiện giao thông. Bài toán được mở rộng hơn khi chi phí giữa các thành phố còn phụ thuộc vào sự tắc nghẽn giao thông giữa hai thành phố và giờ cao điểm của các thành phố. Trong bài báo, các nhà nghiên cứu đề xuất một hướng tiếp cận thực tế, Intuitionistic Fuzzy Time Dependent Traveling Salesman Problem (IFTD TSP), đánh giá độ ảnh hưởng của các nhân tố trong thực tế đến chi phi di chuyển giữa các thành phố trong bài toán TD TSP sử dụng mô hình mờ trực giác. Bài toán sau đó được đưa về bài toán TSP cổ điển và có thể tiếp cận bài toán bằng một số thuật toán tìm kiếm lời giải tối ưu, thuật toán heuristic, thuật toán xấp xỉ,… Thuật toán DBMEA(Discrete Bacterial Memetic Evolutionary Algorithm) được sử dụng như một lời giải bán tối ưu. DBMEA được chứng minh hiệu quả đối với nhiều bài toán NP-khó, trong đó có bài toán TSP và TD TSP.*

Từ khóa— *Tập mờ trực giác, Bài toán người du lịch, Bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian, chi phí mờ, vùng giao thông tắc nghẽn, giờ cao điểm, Discrete Bacterial Memetic.*

I. GIỚI THIỆU

Bài toán người du lịch được phát biểu rằng có một người cần đi du lịch tại n thành phố. Anh ta xuất phát từ một thành phố nào đó, đi qua các thành phố khác tham quan và trở về thành phố ban đầu. Mỗi thành phố chỉ đến một lần, và khoảng cách từ một thành phố đến các thành phố khác đã được biết trước, cần tìm một chu trình sao cho tổng chi phí đi lại là nhỏ nhất [1]. Bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian là bài toán được mở rộng từ bài toán người du lịch, trong đó chi phí di chuyển giữa hai thành phố không chỉ là khoảng cách địa lý mà còn phụ thuộc vào thời gian và tình hình giao thông giữa các thành phố. Trong thực tế, chi phí về mặt thời gian trong việc lưu thông giữa các tuyến đường không phải lúc nào cũng là một hằng số do một số yếu tố ảnh hưởng như thời tiết, dân số, thời gian di chuyển, giờ làm việc,… Các yếu tố này có thể ảnh hưởng đến vận tốc di chuyển của các phương tiện trên đường, vậy kéo theo chi phí về mặt thời gian có thể tăng lên hoặc giảm đi [2]. Lời giải cần tìm của bài toán TD TSP là tìm đường đi qua tất cả thành phố sao cho tổng chi phí thực tế là nhỏ nhất. Thách thức của bài toán ở chỗ việc xác định chi phí ảnh hưởng bởi tắc nghẽn giao thông và giờ cao điểm không hề đơn giản. Mô hình mờ trực giác (IFS) được đưa ra như một hướng tiếp cận để giải quyết vấn đề này, áp dụng suy diễn trực giác trong miền tắc nghẽn và giờ cao điểm cho bài toán TD TSP.

II. Phương pháp tính toán chi phí TSP truyền thống

Bài toán người du lịch có thể được mô hình hóa như một đồ thị vô hướng có trọng số, trong đó mỗi thành phố là một đỉnh của đồ thị còn đường đi giữa các thành phố là các khả năng. Khoảng cách giữa hai thành phố là độ dài cạnh, bài toán trở thành cực tiểu hóa với điểm đầu và điểm cuối là cùng một đỉnh sau khi thăm hết các đỉnh còn lại đúng một lần. Mô hình này thường là một đồ thị đầy đủ (giữa mỗi cặp đỉnh đều có cạnh). Nếu không có đường đi giữa hai thành phố thì có thể thêm một cạnh đối với độ dài đủ lớn vào đồ thị mà không ảnh hưởng đến kết quả tối ưu sau cùng.

X_{ij} = {0,1} là biến quyết định với *i,j = 1,2, …, n* (*n* là số thành phố). x_{ij} = 1 biểu diễn có kết nối giữa đỉnh *i* và *j*.

$$x_{ij} = 0 \; (\, i = 1,2,\dots,n \,)$$

$$G_{TSP} = (V_{cities} \,,\, E_{conn})$$

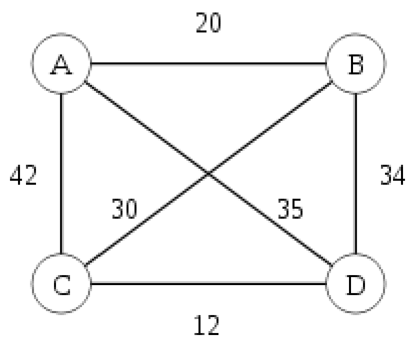
$$V_{cities} = \{v_1 , v_2 , \dots , v_n\},\, E_{conn} \subseteq \{(v_i ,\ v_j) \mid i\ \neq j\}$$

$$\mathrm{C} : V_{cities} \times V_{cities} \to \mathrm{R},\ \mathrm{C} = \left(C_{ij}\right)_{n\times n}$$

C là ma trận chi phí, C_{ij} là chi phí đi từ thành phố *i* đến thành phố *j*. Cần tìm chu trình Hamiltoniam với tổng chiều dài nhỏ nhất, hay tìm đường đi giữa các đỉnh sao cho tổng chi phí nhỏ nhất:

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} C_{p_i,p_{i+1}}\right) + C_{p_n,p_l}$$

Trong bài toán TSP đối xứng, khoảng cách giữa hai thành phố là không đổi dù đi theo chiều nào. Như vậy đồ thị trong bài toán này là đồ thị vô hướng. Việc đối xứng này làm giảm đi một nửa số lời giải có thể. Trong khi đó, với bài toán TSP bất đối xứng thì đường đi giữa hai thành phố có thể chỉ một chiều hoặc có độ dài khác nhau giữa mỗi chiều, tạo nên đồ thị có hướng. Các tai nạn giao thông, đường một chiều hay phí hàng không giữa các thành phố với phí điểm xuất phát và điểm đến khác nhau là những ví dụ về sự bất đối xứng [3].



Hình 1. TSP đối xứng với 4 thành phố

Phân tích hành trình thực tế người du lịch, đặc biệt ở trung tâm thành phố, địa hình và giờ cao điểm tại các vị trí khác nhau là các nhân tố được xem như có giá trị không xác định một cách chính xác, hay nói cách khác có thể được đo bằng các độ đo mờ. Vì vậy dữ liệu cho việc ước lượng khoảng cách giữa hai thành phố không phải là một hằng số, có thể biểu diễn độ tin cậy cho phép ước lượng này bằng mô hình mờ trực giác, đưa ra các phép đo định lượng thực tế và giải pháp tối ưu cho bài toán TD TSP với các nhân tố tắc nghẽn giao thông.

III. Mô hình mờ trực giác cho bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian

III.1 Mô hình mờ trực giác

Con người tư duy trên ngôn ngữ tự nhiên bằng cách học, quy nạp, diễn giải, chuẩn hóa và suy luận. Thông tin trong thế giới thực có thể là các yếu tố mơ hồ, không chính xác, không đầy đủ, không rõ ràng hay là các yếu tố không chắc chắn, có độ tin cậy (đúng, sai), nhiễu hay thậm chí có cả trường hợp không đúng, không sai. Logic mờ được phát triển từ lý thuyết tập mờ để thực hiện lập luận một cách xấp xỉ thay vì lập luận chính xác theo logic vị từ cổ điển [4]. Logic mờ có thể được coi là mặt ứng dụng của lý thuyết tập mờ để xử lý các giá trị trong thế giới thực cho các bài toán phức tạp. Người ta hay nhầm lẫn mức độ đúng với xác suất. Tuy nhiên, hai khái niệm này khác hẳn nhau, độ đúng đắn của logic mờ biểu diễn độ liên thuộc với các tập được định nghĩa không rõ ràng, chứ không phải khả năng xảy ra một biến cố hay điều kiện nào đó. Logic mờ cho phép độ liên thuộc có giá trị trong khoảng đóng 0 và 1, và ở hình thức ngôn từ, các khái niệm không chính xác như "hơi hơi", "gần như", "khá là" và "rất". Cụ thể, nó cho phép quan hệ thành viên không đầy đủ giữa thành viên và tập hợp. Tính chất này có liên quan đến tập mờ và lý thuyết xác suất. Logic mờ đã được đưa ra lần đầu vào năm 1965 bởi Giáo sư Lotfi Zadeh tại Đại học California, Berkeley [5].

Trong lý thuyết tập mờ, độ thuộc của một phần tử trong một tập mờ là một biến có giá trị trong khoảng 0 và 1. Tuy nhiên, trong thực tế, độ không thuộc của phần tử trong tập mờ không hoàn toàn là phần bù so với 1 của độ thuộc vì còn có phần trung gian, tức không hẳn thuộc và cũng không hẳn không thuộc. Tập mờ trực giác là một sự mở rộng của tập mờ cổ điển, kết hợp với độ trung gian để biểu diễn thông tin một cách chính xác và mang nhiều ý nghĩa hơn [6].

1. *Định nghĩa 1*

   Trong không gian E, tập mờ trực giác (IFS) A ⊂ E được định nghĩa:

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x)\rangle | x \in E\}$$
$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$$

   Giá trị $\Pi_A = 1 - \left(\mu_A(x) + \nu_A(x)\right)$ là phần trung gian, có thể phục vụ cho giá trị độ thuộc hay độ không thuộc, hoặc cả hai.

2. *Định nghĩa 2*

   Nếu A và B là 2 tập con IFS của tập E:

$$A \subset B \; iff$$

$$\forall x \in E, \begin{bmatrix} \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{ and} \\ \nu_A(x) \geq \nu_B(x) \end{bmatrix}$$

$$A \supset B \; iff \; B \subset A$$

$$A = B \; iff \; \forall x \in E, \begin{bmatrix} \mu_A(x) = \mu_B(x) \text{ and} \\ \nu_A(x) = V_B(x) \end{bmatrix}$$

$$A \cap B = \{\langle x, min(\mu_A(x), \mu_B(x)), max(\nu_A(x), \nu_B(x)) \rangle | x \in E\}$$

   Tập mờ cổ điển có dạng:

$$A \cup B = \{\langle x, max(\mu_A(x), \mu_B(x)), min(\nu(x), \nu_B(x)) \rangle | x \in E\}\{\langle x, \mu_A(x), \mu_{A^c}(x)\rangle | x \in E\}$$

3. *Định nghĩa 3*

   Cho X và Y là 2 tập mờ, quan hệ mờ trực giác (IFR) R giữa X với Y là một IFS X × Y, đặc trưng bởi hàm thuộc μ_R và hàm không thuộc ν_R. Một quan hệ IFR R giữa X với Y được biểu diễn bởi R(X → Y).

4. *Định nghĩa 4*

   Nếu A là tập IFS của X, phép hợp thành *max-min-max* của quan hệ trực giác (IFR) R (X → Y) với A là một tập IFS B của Y biểu diễn bởi B = R ° A được định nghĩa bởi hàm thuộc:

$$\mu_{R \circ A}(y) = \vee_x[\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)]$$

   Và hàm không thuộc:

$$\nu_{R \circ A}(y) = \wedge_x[\nu_A(x) \vee \nu_R(x, y)]$$

với mọi y.

5. *Định nghĩa 5*

Cho Q(X → Y) và R(Y → Z) là 2 quan hệ mờ trực giác. Phép hợp thành (R ° Q) là một quan hệ mờ trực giác giữa X và Z, được định nghĩa bởi hàm thuộc:

$$\mu_{R\circ Q}(x,\, z) \;=\; \vee_y\left[\mu_Q(x,y) \wedge \mu_R(y,z)\right]$$

Hàm không thuộc:

$$V_{R\circ Q}(x,z) = \wedge_y[v_Q(x,y) \vee v_R(y,z)]$$

$$\forall (x,z) \in X \times Z\, and\, \forall y \in Y$$

A là tập IFS của tập J, R là quan hệ mờ trực giác giữa J với C. Phép hợp thành *max-min-max* B của tập A với quan hệ mờ R (J → C) biểu diễn bởi B = $(A \circ R)$ thể hiện chi phí của các cạnh, B là một tập mờ trực giác trong C với hàm thuộc cho bởi:

$$\mu_B(c) = \vee_{j\in J}[\mu_A(j) \wedge \mu_R(j,c)]$$

và hàm không thuộc:

$$v_B(c) = \wedge_{j\in J}[v_A(j) \vee v_R(j,c)]$$

$$\forall c \in C.\, (Here \wedge \;=\; Min\, and\; \vee Max)$$

Nếu trạng thái cạnh E được mô tả bởi tập mờ trực giác A trong không gian J thì chi phí cạnh E được xác định bởi các IFSs B của C thông qua quan hệ R, được đưa ra bởi các tập luật theo đánh giá của các chuyên gia về vấn đề tắc nghẽn giao thông. Sử dụng phép suy diễn mờ, chi phí tương ứng được xác định dựa vào tình hình tắc nghẽn giao thông [7].

Xét n cạnh E_i; $i = 1,2,\dots,n.$ trong chuyến đi từ điểm bắt đầu đến điểm đích, $e_i \in E$, quan hệ mờ trực giác R $(J \rightarrow C)$. Xây dựng quan hệ Q từ tập các cạnh E với tập các nhân tố gây tắc nghẽn J. Rõ ràng, phép hợp thành T của các quan hệ R, $(T = R \circ Q)$ cho chi phí mỗi cạnh giữa E với C xác định bởi hàm thuộc:

$$\mu_T(e_i, c) = \vee_{j\in J}\left[\mu_Q(e_i j) \wedge \mu_R(j,c)\right]$$

và hàm không thuộc:

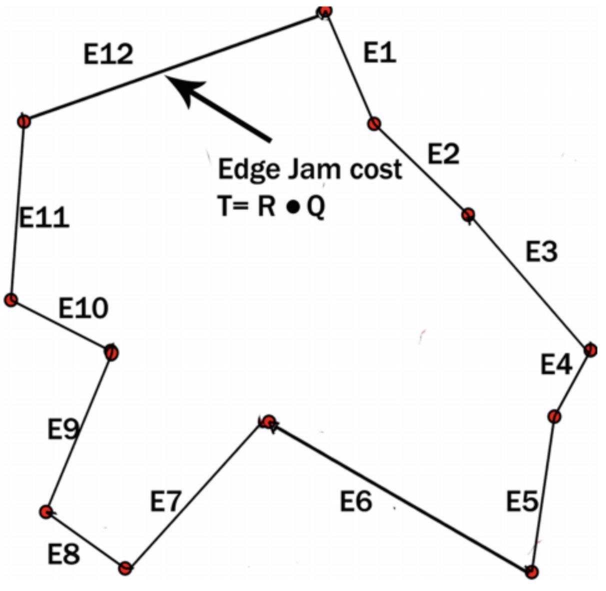
$$v_T(e_i, c) = \wedge_{j\in J}\left[v_Q(e_i j) \vee v_R(j,c)\right]$$

$$\forall e_i \in E\, and\, c \in C$$

Dựa vào quan sát thực tế, quan hệ mờ trực giác R có thể cải thiện sao cho:

i. $J_R = \mu_R - v_R \times \Pi_R$ là tốt nhất

ii. Đảm bảo quan hệ $T = R \circ Q$

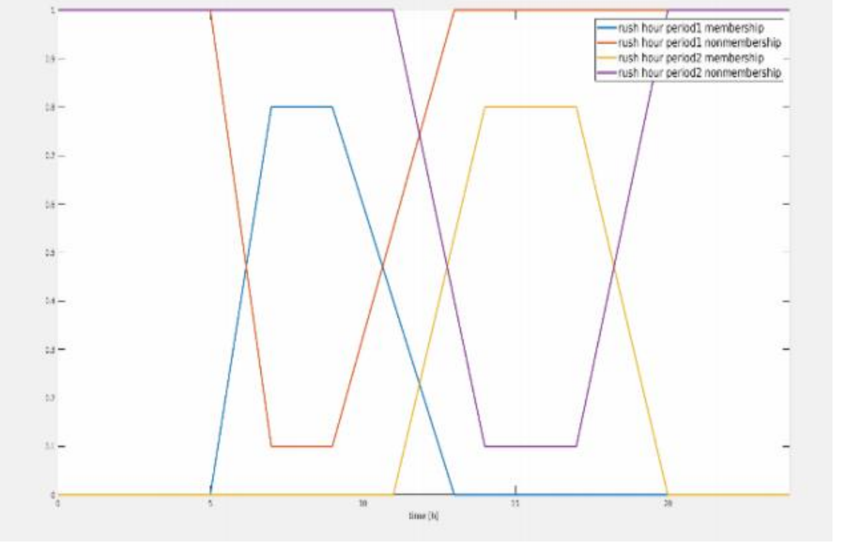


Hình 2. Ví dụ một hành trình của người du lịch

Chí phí tắc nghẽn giao thông cho mỗi cạnh được xác định bởi

$$c_{jam_e} = \frac{\sum_i j_i \times c_i}{\sum_i j_i}$$

Tương tự xác định chi phí (c_{rush}) đối với giờ cao điểm, Q' là quan hệ giữa thời gian và giờ cao điểm được mô tả bởi các hàm thuộc trực giác trong hình 3; R' là quan hệ giữa giờ cao điểm và các nhân tố chi phí; phép hợp thành ($T' = Q' \circ R'$) .



Hình 3. Hàm thuộc và hàm không thuộc của giờ cao điểm

Chi phí của mỗi cạnh được tính dựa trên hai nhân tố chi phí về tắc nghẽn và giờ cao điểm:

- Nếu $c_{jam_e} > 0$

  (cạnh thuộc về ít nhất một trong các vùng tắc nghẽn)

  Và $c_{rush_e} > 0$ (trong giờ cao điểm)

$$c_e = c_{jam_e} \times c_{rush_e} \times dist_e$$

- Ngược lại

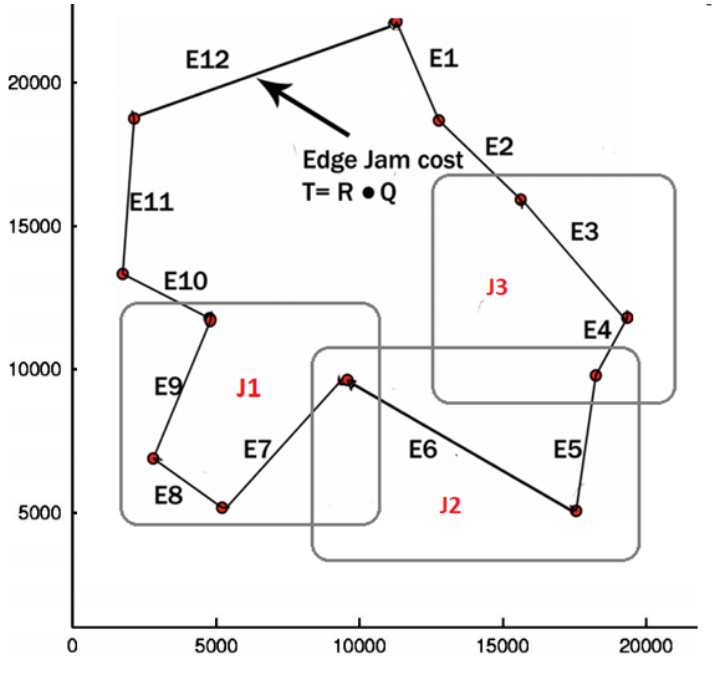
$$c_e = dist_e$$

  Với $dist_e$ là khoảng cách Euclidean.

III.2. Ví dụ mô tả thuật toán

Ví dụ đơn giản người du lịch cần đi đến du lịch tại 12 con phố, hành trình được biểu diễn bởi 12 cạnh $(E_1, E_2, \ldots, E_{12})$ như hình 4. Trong hành trình của người du lịch, có 3 vùng xảy ra tắc nghẽn J_1, J_2, J_3; 2 khoảng thời gian trong ngày được cho là giờ cao điểm từ 6h-9h và 17h-21h.

Giả sử xác định được hàm thuộc và không thuộc giữa cạnh và các miền tắc nghẽn, cũng như mối liên hệ giữ thời gian xuất phát từ một cạnh và giờ cao điểm.



Hình 4. Các vùng xảy ra tắc nghẽn

Các chi phí ảnh hưởng đến chi phí của vùng tắc nghẽn như mật độ dân số, công ty, đèn giao thông. Quan hệ giữa các nhân tố đối với chi phí:

Jam Area (R)	Mật độ dân số (C1)	Công ty (C2)	Đèn giao thông (C3)
J1	(0.4, 0)	(0.6, 0.3)	(0.1, 0.7)
J2	(0.3, 0.5)	(0.2, 0.6)	(0.6, 0.1)
J3	(0.1, 0.7)	(0, 0.9)	(0.2, 0.7)

Xét cạnh E_7, ta có độ thuộc và không thuộc vào các vùng J_1, J_2, J_3 lần lượt là:

$$\mu_{J1}(E_7) = 0.8\,,\ \nu_{J1}(E_7) = 0.15$$

$$\mu_{J2}(E_7) = 0.4\,,\ \nu_{J2}(E_7) = 0.35$$

$$\mu_{J3}(E_7) = 0\,,\ \nu_{J3}(E_7) = 1$$

Áp dụng định nghĩa 5, xác định giá trị độ thuộc giữa quan hệ hợp thành cạnh và vùng tắc nghẽn với vùng tắc nghẽn và chi phí các nhân tố ảnh hưởng, ta có giá trị độ thuộc và không thuộc giữa cạnh và chi phí các nhân tố ảnh hưởng đối với vùng tắc nghẽn:

Jam Cost (R)	Mật độ dân số (C1)	Công ty (C2)	Đèn giao thông (C3)
E7	(0.4, 0.15)	(0.6, 0.3)	(0.4, 0.35)

Kết quả chi phí vùng tắc nghẽn

J_R	$(J_R 1)$	C1	$(J_R 2)$	C2	$(J_R 3)$	C3
E7	0.3325	2.0	0.57	1.5	0.3125	1.8

Chi phí tắc nghẽn cạnh E_7: $c_{jam_{E7}} = \frac{\sum_i j_i \times c_i}{\sum_i j_i} = 1.714$

Tương tự xác định chi phí cạnh E_7 ảnh hưởng bởi giờ cao điểm H_1, H_2. Giả sử thời gian bắt đầu di chuyển từ một đỉnh trên cạnh E_7 vào lúc 8h sáng. Độ thuộc và không thuộc vào H_1, H_2:

$$\mu_{H1}(E_7) = 0.9\,,\ \nu_{H1}(E_7) = 0.05$$

$$\mu_{H2}(E_7) = 0\,,\ \nu_{H2}(E_7) = 1$$

Các chi phí ảnh hưởng đến chi phí giờ cao điểm như thời tiết, giờ làm việc

Rush hour	Thời tiết (C1)	Giờ làm việc (C2)
H1	(0.7, 0.2)	(0.6, 0.3)
H2	(0.5, 0.3)	(0.8, 0.1)

Áp dụng định nghĩa 5, xác định giá trị độ thuộc giữa quan hệ hợp thành cạnh và giờ cao điểm với giờ cao điểm với chi phí các nhân tố ảnh hưởng, ta có giá trị độ thuộc và không thuộc giữa cạnh và chi phí nhân tố ảnh hưởng đối với giờ cao điểm:

Rush Hour Cost (R)	Thời tiết (C1)	Giờ làm việc (C2)
E7	(0.7, 0.2)	(0.6, 0.3)

Kết quả chi phí giờ cao điểm:

H_R	(H_R1)	C1	(H_R2)	C2
E7	0.68	1.0	0.57	1.5

Chi phí giờ cao điểm cạnh E_7: $c_{rushhour_{E7}} = \frac{\sum_i h_i \times c_i}{\sum_i h_i} = 1.535$

Giả sử khoảng cách cạnh E_7 là 5, vậy tổng chi phí cho cạnh E_7 là:

$$c_{e_7} = c_{jam_{e7}} \times c_{rushhour_{e7}} \times dist_{e7} = 1.714 \times 1.535 \times 5 = 13.15495$$

Phương pháp áp dụng tương tự cho các cạnh còn lại trên đồ thị, ta thu được chi phí thực tế cho việc di chuyển cho các thành phố, bài toán được đưa về bài toán TSP truyền thống và sử dụng các hướng tiếp cận tối ưu hoặc bán tối ưu để giải quyết bài toán.

IV. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Các tiêu chuẩn cho bài toán người du lịch được kiểm chứng cho bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian lần đầu tiên bởi Scheneider [7]. Ông định nghĩa một miền tắc nghẽn giao thông với tọa độ điểm góc bên trái (7080,7200), với cửa sổ có chiều rộng 6920, chiều cao 9490. Trong bộ kiểm thử của bài báo, miền tắc nghẽn này được chia thành 4 miền con có kích thước bằng nhau. Vận tốc v = 6000 m/h cho mỗi bộ kiểm thử. Hai khoảng giờ cao điểm được định nghĩa trong Hình 3.

Thuật toán DBMEA được thử nghiệm trên máy Intel Core i7-7500U 2.7 GHz, 8GB RAM bộ nhớ, hệ điều hành Linux Mint 18. Kết quả được tính toán lấy theo kết quả trung bình 5 bộ kiểm thử.

Nhân tố chi phí	DBMEA		
	Thời gian thực nghiệm tốt nhất	Thời gian thực nghiệm trung bình	Thời gian trung bình (s)
$c_1 = 1.01$ $c_2 = 1.05$ $c_3 = 1.1$ $c_4 = 1.2$	20.605	20.712	170.535
$c_1 = 1.05$ $c_2 = 1.1$ $c_3 = 1.2$ $c_4 = 1.5$	21.166	21.349	176.691
$c_1 = 1.1$ $c_2 = 1.3$	22.061	22.186	192.313

$c_3 = 1.5$ $c_4 = 2$			
$c_1 = 1.2$ $c_2 = 1.5$ $c_3 = 2$ $c_4 = 5$	22.885	23.124	207.919
$c_1 = 1.5$ $c_2 = 2$ $c_3 = 5$ $c_4 = 10$	23.867	24.185	195.417
$c_1 = 1.01$ $c_2 = 1.05$ $c_3 = 1.1$ $c_4 = 1.2$	23.909	24.302	207.109
$c_1 = 1.01$ $c_2 = 1.05$ $c_3 = 1.1$ $c_4 = 1.2$	24.058	24.629	124.910

Kết quả cho thấy cần nhiều giờ đồng hồ để thăm mỗi vị trí với các nhân tố chi phí khác nhau. Bài toán tiếp theo lại quay về bài toán kinh điển của TSP đó là tìm hành trình có chi phí thấp nhất trong thời gian có thể thực hiện được thực tế. Kết quả trên cho thấy thuật toán DBMEA là một giải pháp tốt cho bài toán TD TSP với nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chi phí giữa các hành trình.

KẾT LUẬN

Bài toán người du lịch là một bài toán NP-khó thuộc thể loại tối ưu rời rạc hay tổ hợp được nghiên cứu trong vận trù học hoặc lý thuyết khoa học máy tính, có nhiều ứng dụng trong lập kế hoạch, hậu cần, cũng như thiết kế vi mạch. Bài toán người du lịch phụ thuộc thời gian là một trong những biến thể của bài toán người du lịch phản ảnh các vấn đề thực tế, trong đó chi phí giữa các thành phố phụ thuộc vào nhiều yếu tố như vị trí và thời gian. Trong bài báo, tác giả đề xuất mô hình mờ trực giác, áp dụng lý thuyết tập mờ trực giác giải quyết bài toán xác định chi phí giữa các thành phố dựa trên các nhân tố ảnh hưởng tắc nghẽn và thời gian phụ thuộc giờ cao điểm. Mô hình làm trội mức độ liên kết và làm giảm mức độ không liên kết của các nhân tố tắc nghẽn và giờ cao điểm, tính toán giá trị chi phí thực tế cho việc di chuyển giữa các thành phố. Hướng nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả áp dụng và cải tiến thuật toán meta-heuristics DBMEA cho việc xác định hành trình tối ưu cho bài toán người du lịch cũng như các bài toán đồ thị NP-khó nói chung. Đây là một trong những đề tài nghiên cứu được quan tâm hàng thập kỷ và hứa hẹn sẽ mở ra nhiều kết quả nghiên cứu có ứng dụng thực tiễn cao.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. Đ. Nghĩa, Toán rời rạc, Hanoi: Nhà xuất bản Đại học Bách khoa Hà Nội, 2006.

[2] Ingo Morgenstern, Johannes Bentner, Gu ¨nter Bauer, Gustav M. Obermair,, "Optimization of the time-dependent traveling salesman problem with Monte," *Physical Review E,* 2001.

[3] "Bài toán người du lịch," Wikipedia, [Online]. Available: https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A0i_to%C3%A1n_ng%C6%B0%E1%BB%9Di_b%C3%A1n_h%C3%A0ng.

[4] T. Đ. Khang, Xử lý thông tin mờ, Hanoi, 2009.

[5] Wikipedia, "Logic mờ," [Online]. Available: https://vi.wikipedia.org/wiki/Logic_m%E1%BB%9D.

[6] P. A.Ejegwa, S.O. Akowe, P.M. Otene, J.M. Ikyule, "An Overview On Intuitionistic Fuzzy Sets," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH,* vol. 3, no. 3, 2014.

[7] Scheneider, "J.: The time-dependent traveling salesman problem," *PhysicaA 314,* p. 151–155, 2002.

[8] Ruba Almahasneh, Boldizsar Tuu-Szabo, Peter Foldesi and Laszlo T. Koczy, "Intuitionistic Fuzzy Model of Traffic Jam Regions and Rush Hours for the Time Dependent Traveling Salesman Problem," *Fuzzy Information Processing Society,* p. 135, 2019.

[9] P. Aguiar-Melgarejo, "A Constraint Programming Approach for the Time Dependent Traveling Salesman Problem," *INSA,* 2016.

[10] Tüű-Szabó, B., Földesi, P., Kóczy, L.T., "The discrete bacterial memetic evolutionary algorithm for solving the one-commodity pickup-and-delivery traveling salesman problem," 2018.

[11] L. F. P. T.-S. B. Kóczy, "A discrete bacterial memetic evolutionary algorithm for the traveling salesman problem," *IEEE World Congress on Computational Intelligence,* pp. 3261-3267.