



MỘT SỐ ĐÁNH GIÁ HÌNH HỌC MẠNG LƯỚI TÀU ĐIỆN ĐÔ THỊ HÀ NỘI THEO LÝ THUYẾT ĐỒ THỊ

Nguyễn Việt Phương¹

Tóm tắt: Bài báo trình bày mô tả mạng lưới tàu điện Hà Nội dưới dạng đồ thị. Sau đó, đánh giá hình học mạng lưới tàu điện đô thị Hà Nội giai đoạn 1 theo một số chỉ tiêu bằng lý thuyết đồ thị. Kết quả đánh giá được so sánh với mạng lưới của nhiều đô thị trên thế giới.

Từ khóa: Hà Nội; tàu điện đô thị; thiết kế mạng lưới; lý thuyết đồ thị.

Summary: This paper presents the modelling of Hanoi Mass Rapid Transit (MRT) network as a graph. Then, some indices by graph theory namely complexity, connectivity, directness, ... are used to evaluate geometric configuration of Hanoi MRT network for the first phase. Evaluation results are compared to 33 MRT networks in the world.

Keywords: Hanoi; mass rapid transit network; network design; graph theory.

Nhận ngày 11/12/2015, chỉnh sửa ngày 22/12/2015, chấp nhận đăng 07/01/2016



1. Đặt vấn đề

Thủ đô Hà Nội đã quy hoạch và đang từng bước đầu tư xây dựng hệ thống tàu điện đô thị. Dự kiến đến năm 2020 hoặc vài năm sau đó, thủ đô sẽ có các tuyến tàu điện đô thị gồm tuyến số 1, 2, 2A và 3 trong tổng số 8 tuyến tàu điện đô thị đã được phê duyệt trong Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 [1]. Bài báo này tập trung vào ứng dụng lý thuyết đồ thị trong mô hình hóa và đánh giá các chỉ tiêu hình học của các tuyến tàu điện đô thị sử dụng phương pháp đã được tác giả trình bày ở bài báo [2]. Để thuận tiện cho việc theo dõi, một số khái niệm và phương pháp của bài báo [2] được tóm lược lại. Các kết quả đánh giá được so sánh với một số mạng lưới tàu điện đô thị trên thế giới (sử dụng dữ liệu của nghiên cứu [4 - 6]).



2. Mô hình hóa mạng lưới tàu điện đô thị Hà Nội bằng lý thuyết đồ thị

Mạng lưới tàu điện đô thị dự kiến triển khai đầu tư đến năm 2020 gồm 4 tuyến: Tuyến 1: Yên Viên - Ngọc Hồi, 27 km đi trên cao (giai đoạn 1: 15 km, giai đoạn 2: 12 km); Tuyến 2A: Cát Linh - Hà Đông, 13 km đi trên cao; Tuyến 2: dài 17,2 km gồm đoạn 1 - Nam Thăng Long - Trần Hưng Đạo 11,5 km, với 3 km đi trên cao và 8,5 km đi ngầm; đoạn 2 - Trần Hưng Đạo - Thượng Đình 5,7 km đi ngầm; Tuyến 3: Nhổn - Ga Hà Nội, 12,5 km (với 8,5 km đi trên cao và 4 km đi ngầm).

Mạng lưới tàu điện Hà Nội được đồ thị hóa gồm các nhà ga là đỉnh và đoạn tuyến là cạnh. Hai cách tiếp cận có thể được khi nghiên cứu mạng lưới giao thông: hoặc tất cả các ga được coi là đỉnh (điều này đặc biệt hữu ích khi nghiên cứu dòng hành khách trong mạng) hoặc chỉ có ga trung chuyển (giao nhau liên thông giữa các tuyến) và ga đầu cuối được xem xét. Cách tiếp cận thứ hai thích hợp hơn khi xem xét bài toán thiết kế mạng lưới: một ga tàu điện không phải là một đỉnh nếu nó không trung chuyển hành khách giữa các tuyến trong mạng lưới. Tuy nhiên, tổng số ga n_s vẫn là một chỉ tiêu khi xem xét các khía cạnh diện phục vụ. Ngoài ra, ba đặc tính của mạng lưới giao thông công cộng (GTCC) sẽ hữu ích: số tuyến n_L , số nhánh n_B và tổng chiều dài toàn tuyến L (km).

¹TS, Khoa Xây dựng Cầu đường. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: vip.hdx@gmail.com.

Tiếp theo, mạng lưới được số hóa cạnh, đỉnh và các thuộc tính khác của đồ thị mạng lưới GTCC. Hình 1 là bản đồ mạng lưới; Hình 2 mô tả mạng lưới tàu điện như một đồ thị.

Mạng lưới tàu điện Hà Nội gồm 2 loại đỉnh, đỉnh trung chuyển và đỉnh kết thúc tuyến. Đỉnh trung chuyển ứng với các nhà ga trung chuyển, nơi cho phép hành khách chuyển sang tuyến khác để tiếp tục thực hiện hành trình trong hệ thống. Việc trung chuyển có thể đơn giản là một nút giao cắt đổi tàu hoặc đòi hỏi hành trình đi bộ dài. Đỉnh cuối tuyến là nhà ga kết thúc tuyến và không thể chuyển sang tuyến tàu điện khác. Lưu ý rằng nếu một tuyến kết thúc tại nhà ga của 1 tuyến khác, nó được xem như đỉnh trung chuyển (ví dụ đỉnh 4 trên Hình 2), trường hợp hai tuyến cùng kết thúc tại 1 nhà ga cũng được xem là đỉnh trung chuyển. Trường hợp đồ thị Hà Nội giai đoạn 1, hệ thống tàu điện có tổng cộng 11 đỉnh (5 kết thúc và 6 chuyển đỉnh). Về mặt toán học, tổng số đỉnh v là bằng tổng của v^i - đỉnh trung chuyển và v^o - đỉnh kết thúc tuyến: $v = v^i + v^o$.

$$v = \sum_i v_i$$

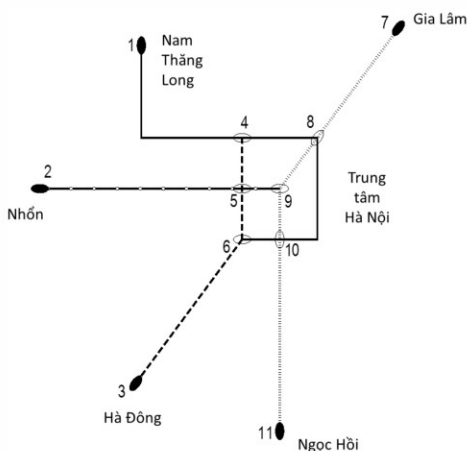
$$v^i = \sum_{i,l \neq 1} v_{i,l} \quad (1)$$

$$v^o = \sum_{i,l=1} v_{i,l}$$

Trong các phương trình trên, 'i' là nhãn đỉnh và 'l' là thuộc tính của đỉnh (xác định theo số tuyến giao cắt tại đỉnh, $l = 1$ nếu nhà ga phục vụ duy nhất 1 tuyến và $l = 2$ ứng với nhà ga phục vụ 2 tuyến...). Thuộc tính của đỉnh cho phép tính toán đặc tính kết nối của mạng lưới. Kết quả tổng hợp của mạng lưới tàu điện Hà Nội được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính các đỉnh của mạng lưới tàu điện đô thị Hà Nội giai đoạn 1

Đỉnh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Điểm trung chuyển v^i	Điểm kết thúc v^o
Thuộc tính cạnh	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	6	5



Thông số mạng lưới	Viết tắt	Ký hiệu	Giá trị của hệ thống Hà Nội
Chiều dài (km)	L		69.7
Số ga	n_s		49
Số tuyến	n_L		4
Số nhánh	n_g		6
Số đỉnh	v		11
Số đỉnh kết thúc	v^o		5
Số đỉnh trung chuyển	v^i		6
Số cạnh	e		13
Số cạnh đơn	e^s		13
Số cạnh bội	e^m		0
Số trung chuyển lớn nhất	δ		2

Hình 2. Mô tả mạng lưới tàu điện dưới dạng đồ thị

Việc sử dụng khái niệm cạnh bội là tính tới tính chất hơn 1 tuyến đi qua 2 ga liên tiếp. Đối với trường hợp Hà Nội, tất cả các cạnh là đơn. Về mặt toán học, tổng số cạnh e bằng tổng số cạnh đơn e^s và cạnh bội e^m : $e = e^s + e^m$. Hoặc mỗi cạnh được dán nhãn một cách riêng biệt, tương tự như trường hợp của đỉnh, hoặc mỗi cạnh có thể được xem như là đường nối đỉnh 'i' tới 'j'. Cách tiếp cận thứ hai phù hợp hơn nhờ việc số hóa dưới dạng ma trận (Bảng 2).

Bảng 2. Đặc tính các cạnh của mạng lưới tàu điện Hà Nội giai đoạn 1

Đỉnh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Tổng số cạnh e	Số cạnh đơn e^s	Số cạnh bội e^m
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
4	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	3	0
5	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	4	4	0
6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3	3	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
8	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	4	4	0
9	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3	3	0
10	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	4	4	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
Tổng	1	1	1	3	4	3	1	4	3	4	1	26	26	0
Tổng có hiệu												13	13	0



3. Đánh giá mạng lưới tàu điện đô thị Hà Nội đến năm 2020

Một số các chỉ tiêu có thể được sử dụng để đánh giá mạng lưới tàu điện đô thị. Tổng chiều dài các tuyến L và số lượng nhà ga n_s là các cách đơn giản nhất để đánh giá hình học mạng lưới. Các hệ thống tàu điện lớn nhất thế giới có hơn 100 ga, còn của Hà Nội giai đoạn 1 là 69,7km với 11 ga. Theo Vuchic [5], hành khách tiềm năng sống trong phạm vi 5 phút đi bộ (400m) của nhà ga sẽ sử dụng hệ thống và lượng hành khách về không khi cự ly đi bộ lên tới 10 phút.

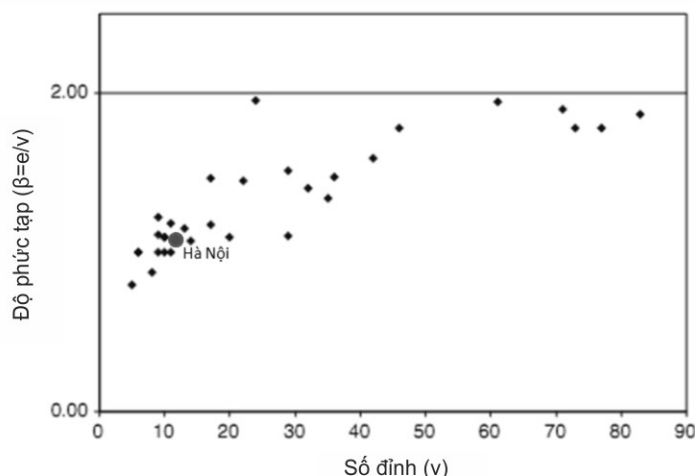
Paris là một trong số những mạng lưới dày đặc nhất thế giới, phần lớn người dân có thể tiếp cận với nhà ga tàu điện trong 10 phút. Trái lại ở London với quy mô thành phố rộng hơn Paris và bao gồm nhiều khu vực rộng lớn có dịch vụ tàu điện nghèo nàn. Lưu ý rằng diện phục vụ của ga tàu điện không phải lúc nào cũng được xác định bởi giao thông cho người đi bộ. Ví dụ, nhà ga với hạ tầng dừng/đỗ xe tốt (kiss-and-ride, park-and-ride) có thể thu hút cả những hành khách đến bằng xe cá nhân.

Theo phương pháp đã trình bày [2], tác giả tiến hành đánh giá mạng lưới tàu điện Hà Nội theo 3 nhóm chỉ tiêu dưới đây (mục a,b,c) và so sánh với mạng lưới của 33 đô thị lớn trên thế giới [4]. Kết quả được tổng hợp ở Bảng 3 và Bảng 4.

a) Mức phát triển mạng lưới (State)

Mức phát triển mạng lưới đánh giá giai đoạn phát triển hiện tại của một mạng, cho dù đó là một mạng lưới tương đối đơn giản hoặc một mạng lưới phức tạp hơn, theo hai chỉ số mạng: độ phức tạp β và mức độ kết nối γ .

Độ phức tạp β là tỷ số giữa số cạnh và số đỉnh: $\beta = e / v$. Giá trị độ phức tạp thường đạt giá trị xấp xỉ 2, tức là cứ mỗi đỉnh mới được thêm vào mạng lưới, sẽ có khoảng 2 cạnh liên kết tạo ra. Dự đoán quy luật thay đổi số cạnh khi tăng số đỉnh là việc khá quan trọng. Trong thực tế, nó phụ thuộc vào loại mạng (đường bộ, đường sắt, đường không,...), chưa có phương pháp định lượng để xác định quy luật này. Đối với mạng lưới Hà Nội, $\beta = 13/11=1,18$, tương quan so sánh với các đô thị trên thế giới được thể hiện ở Hình 3.

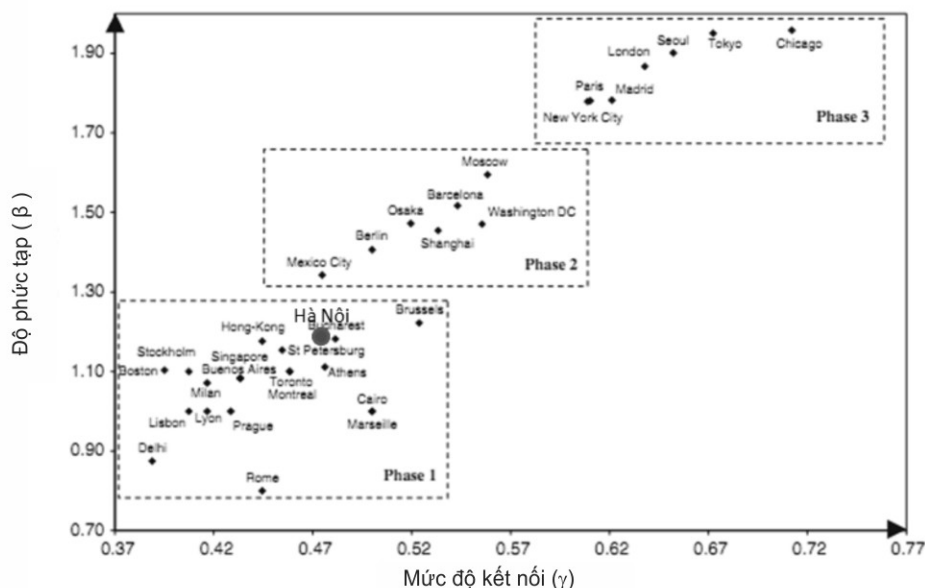


Hình 3. Vị trí mạng lưới Hà Nội trong mối quan hệ giữa độ phức tạp β và số đỉnh v

Mức độ kết nối γ mô tả lượng liên kết hình thành trên mạng lưới so với lượng liên kết có thể tạo ra. Do đó γ là tỷ số giữa số cạnh thực có của mạng lưới chia cho số cạnh tiềm năng trong trường hợp mạng lưới liên kết hoàn chỉnh 100%. Trong một đồ thị đa chiều, số cạnh tiềm năng được tính bằng $\frac{1}{2}v(v-1)$. Tuy nhiên, mạng lưới tàu điện ngầm gần như luôn luôn phẳng: hai cạnh cắt qua nhau sẽ tự động tạo ra một đỉnh (nhà ga). Đối với mạng phẳng với $v \geq 3$, số cạnh tiềm năng là $3v-6$. Kết quả, mức độ kết nối γ trở thành:

$$\gamma = \frac{e}{e_{\max}} = \frac{e}{3v-6} \quad (2)$$

Đối với mạng lưới Hà Nội = $13/(3 \cdot 11 - 6) = 0,48$. Mức độ kết nối thường dao động ở mức 2/3, tức là kết nối đạt 66%. Tương quan giữa độ phức tạp và mức độ kết nối của Hà Nội được so sánh với các mạng lưới trên thế giới (xem Hình 4).



Hình 4. Vị trí mạng lưới Hà Nội trong mối quan hệ giữa mức độ kết nối và mức độ phức tạp

b) Dạng thức mạng lưới (Form)

Dạng thức mạng lưới mô tả các mạng lưới được tích hợp trong đô thị. Mạng lưới tàu điện có thể đóng một vai trò khác nhau đối với đô thị tùy thuộc vào việc chúng được quy hoạch như thế nào. Một số mạng lưới hoạt động ở cấp đô thị, bằng cách đưa người dân từ các khu ở đến khu làm việc, trong khi một số khác chú trọng vào việc phục vụ người dân ở một khu vực cụ thể (cấp khu vực). Trong phần này, chúng ta

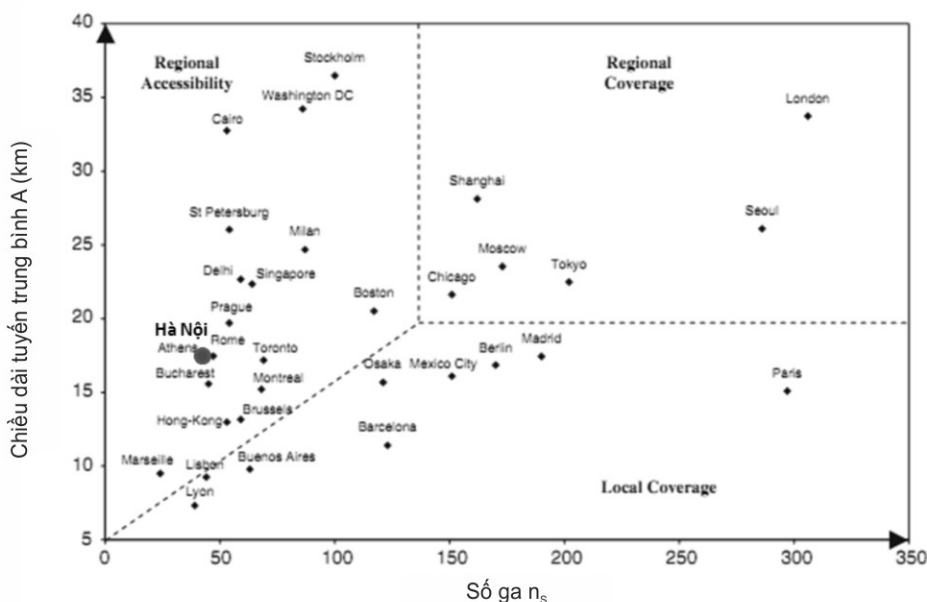
xem xét 3 chỉ tiêu điển hình của mạng lưới tàu điện: tổng số tuyến n_L , tổng số ga n_S và tổng chiều dài L của mạng lưới.

Chiều dài trung bình A của các tuyến thuộc mạng lưới Hà Nội:

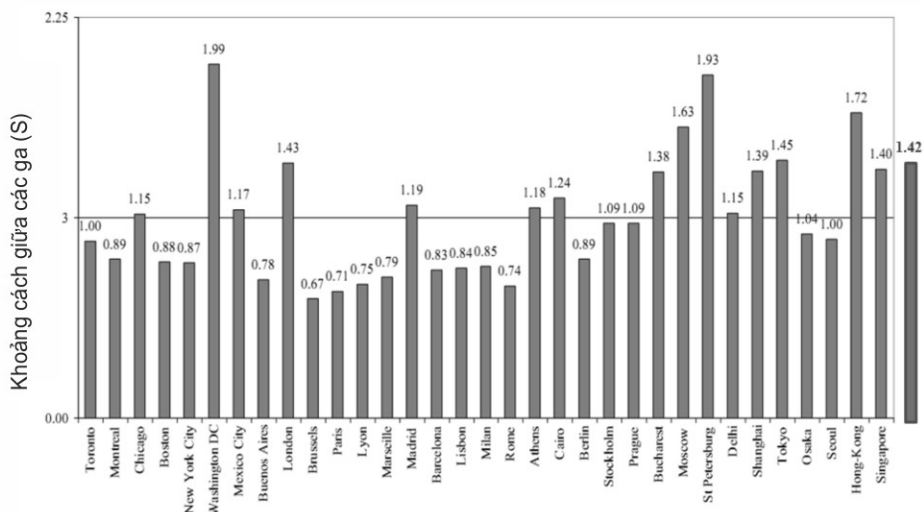
$$A = L / n_L = 69,7 / 4 = 17.4 \text{ (km)} \quad (3)$$

Mục tiêu là để xác định mạng lưới chú trọng cấp đô thị (liên vùng) hay cấp khu vực. Thông thường, tuyến càng dài càng có xu hướng liên kết cấp đô thị, giữa trung tâm với ngoại ô hoặc theo vành đai. Số ga $n_S = 49$ đối với mạng lưới Hà Nội. Số ga cũng giữ vai trò quan trọng, vì một mạng lưới có chiều dài trung bình tuyến ngắn và nhiều ga sẽ có xu hướng chú trọng phục vụ địa phương. Đánh giá tương quan giữa chiều dài trung bình tuyến và số ga được thể hiện ở Hình 5.

Khoảng cách trung bình S giữa các ga: $S = L / n_S = 69,7 / 49 = 1,42 \text{ (km)}$. Kết quả so sánh xem ở Hình 6. Việc giải thích của khoảng cách giữa các ga có thể bị hạn chế do thực tế là giá trị khoảng cách ga không thể hiện nhiều về sự mở rộng của mạng lưới. Có thể thấy khi khoảng cách liên ga ngắn thường dẫn tới tốc độ thấp và thời gian hành trình kéo dài. Nhìn chung có thể nhận định một mạng lưới với khoảng cách liên ga lớn có xu hướng phục vụ cấp đô thị.



Hình 5. Vị trí mạng lưới Hà Nội trong mối quan hệ giữa số ga và chiều dài mạng lưới



Hình 6. Vị trí mạng lưới Hà Nội trong tương quan mật độ ga

c) Kết cấu mạng lưới (Structure)

Ba chỉ tiêu quan trọng của cấu trúc mạng lưới là tính kết nối ρ , tính trực tiếp τ , diện phục vụ σ .

Tính kết nối cấu trúc ρ đo lường mức độ ảnh hưởng và tầm quan trọng của kết nối trung chuyển trong hệ thống. Tính kết nối ρ được xác định:

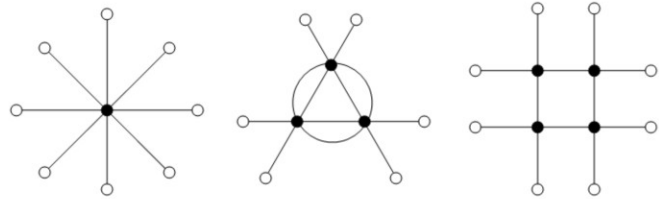
$$\rho = \frac{V_c' - E^m}{V^f} = \frac{\sum_i (I-1) \cdot v_{i,l} - \frac{1}{2} \left(\sum_{ij} (e_{ij} - e_{ji}) \right)}{\sum_{i,l \neq 1} v_{i,l}}, \text{ với mọi } e_{ij} \neq 0 \quad (4)$$

Số khả năng trung chuyển V_c' được xác định:

$$V_c' = \sum_i (I-1) \cdot v_{i,l} \quad (5)$$

trong đó 'I' là thuộc tính của đỉnh (nhà ga GTCC) đặc trưng cho khả năng trung chuyển tới các tuyến khác trong mạng lưới. Ví dụ ở mạng lưới tàu điện Hà Nội ở Hình 2, nếu đi dọc theo tuyến nét đứt (Cát Linh - Hà Đông), bắt đầu từ đỉnh 3 và đến đỉnh 6,5,4, mỗi đỉnh có 1 khả năng trung chuyển. Mạng lưới Hà Nội có $V_c' = 6$.

Để dễ hình dung chỉ số tính kết nối, Hình 7 cho thấy giá trị của các dạng mạng lưới khác nhau. Mạng lưới đầu tiên là một mạng lưới tập trung, có tính kết nối cao. Dạng lưới ô vuông, mặc dù có nhiều ga trung chuyển nhưng không "thuận tiện" để trung chuyển, vì thế tính kết nối thấp hơn. Mạng ở giữa được sử dụng nhiều trong thực tế. Nhìn chung, các chỉ số ρ thiên về hệ thống tập trung (hub) vì dạng hệ thống này cung cấp khả năng trung chuyển tại một số ít ga đầu mối. Đối với mạng lưới Hà Nội $\rho = (6-0)/6 = 1$ cho thấy tính kết nối còn hạn chế, mạng lưới còn ở mức giản đơn.

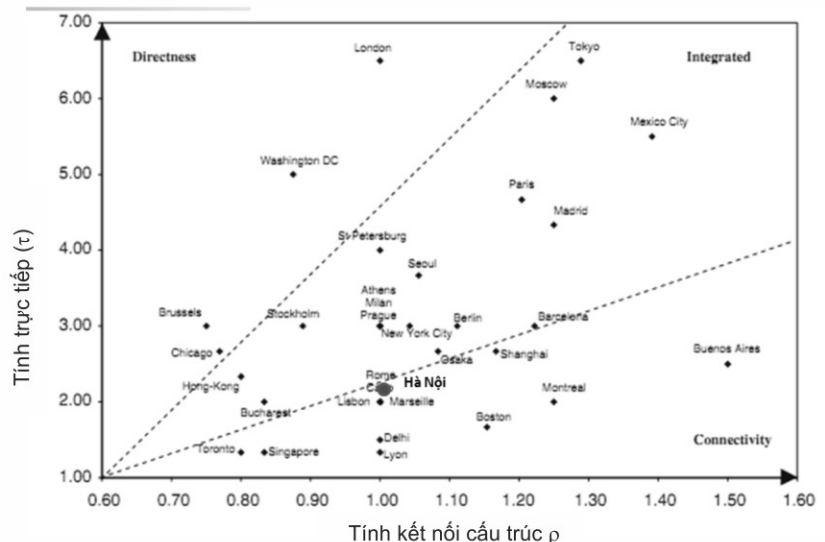


V_c'	3	6	4
E^m	0	0	0
V^f	1	3	4
ρ	3	2	1

Hình 7. Xác định chỉ số kết nối mạng lưới tàu điện đô thị

Tính trực tiếp τ được tính như sau: $\tau = \frac{n_L}{\delta} \quad (6)$

Mặc dù khái niệm tính trực tiếp là dễ hiểu nhưng việc xây dựng phương pháp định lượng tương đối khó khăn trong trường hợp mạng lưới có quy mô lớn. Đối với mạng lưới của Hà Nội: số lần trung chuyển nhiều nhất cho 1 chuyến đi trên mạng lưới $\delta = 2$ và số tuyến tàu điện $n_L = 4$ nên $\tau = 4/2 = 2$. So với 33 mạng lưới tàu điện trên thế giới thì tính trực tiếp ở mức thấp. Hình 8 biểu thị tương quan giữa tính kết nối cấu trúc và tính trực tiếp so với 33 đô thị trên thế giới.

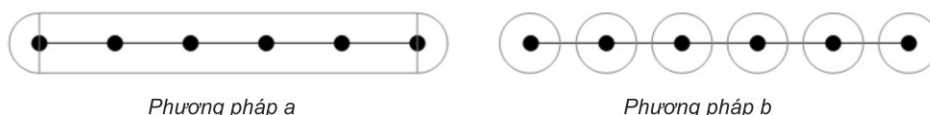


Hình 8. Xác định chỉ số kết nối mạng lưới tàu điện đô thị

Diện phục vụ σ biểu thị phần trăm diện tích đô thị được phục vụ bởi mạng lưới GTCC, được xác định bằng tỷ lệ giữa diện tích bao quanh nhà ga và tổng diện tích cần phục vụ [3].

$$\sigma = \frac{N_s \cdot \pi \cdot 0,5^2}{\text{Diện tích cần phục vụ}} \quad (7)$$

Giá trị phạm vi đi bộ chấp nhận được (thường lấy 500 m) được xem là căn cứ xác định diện tích phục vụ. Hình 9 minh họa 2 phương pháp thường được sử dụng: phương pháp a theo hành lang phục vụ dọc tuyến và phương pháp b theo bán kính đi bộ quanh ga. Rõ ràng, trong trường hợp mạng lưới tàu điện Hà Nội, khoảng cách giữa các ga lớn, sử dụng phương pháp b hợp lý hơn. Một số tác giả [5,6] đề nghị xét tới yếu tố mật độ dân số trong xác định phục vụ, bằng cách đưa trọng số mật độ dân số vào trong công thức và có thể loại trừ các diện tích không có người ở.



Hình 9. Xác định diện phục vụ mạng lưới tàu điện đô thị

Việc xác định diện phục vụ đối với mạng lưới tàu điện Hà Nội đòi hỏi nhiều dữ liệu cần thu thập hơn so với các chỉ tiêu đánh giá ở trên nên tác giả sẽ trình bày trong khuôn khổ 1 bài báo tiếp theo.

Bảng 3. Đánh giá và so sánh mạng lưới tàu điện Hà Nội theo các chỉ tiêu cơ bản

Mạng lưới tàu điện	Chiều dài tuyến	Số ga	Số tuyến	Số nhánh	Số đỉnh			Số đỉnh trung chuyển với x tuyến						Số cạnh			Số lần trung chuyển nhiều nhất
					Đỉnh	Đỉnh kết thúc	Đỉnh trung chuyển	2	3	4	5	6	Số cạnh	Cạnh đơn	Cạnh bội		
	L (km)	n _s	n _L	n _b	v	v ^p	v ⁱ	v ₂ ⁱ	v ₃ ⁱ	v ₄ ⁱ	v ₅ ⁱ	v ₆ ⁱ	e	e ^s	e ^m	đ	
Brussels	39.50	59	3	0	9	5	4	3	1	0	0	0	11	9	2	1	
Washington	171.14	86	5	0	17	9	8	4	3	1	0	0	25	19	6	1	
Toronto	68.75	69	4	0	10	5	5	5	0	0	0	0	11	10	1	3	
Montreal	60.86	68	4	0	10	6	4	3	1	0	0	0	11	11	0	2	
Boston	102.56	117	5	6	29	16	13	10	3	0	0	0	32	31	1	3	
Marseille	19.00	24	2	0	6	4	2	0	0	0	0	0	6	6	0	1	
Delhi	68.00	59	3	0	8	6	2	2	0	0	0	0	7	7	0	2	
Singapore	89.40	64	4	1	12	6	6	6	0	0	0	0	13	12	1	3	
Cairo	65.50	53	2	0	6	4	2	2	0	0	0	0	6	6	0	1	
Rome	34.94	47	2	0	5	4	1	1	0	0	0	0	4	4	0	1	
Milan	74.06	87	3	2	14	8	6	6	0	0	0	0	15	15	0	1	
Athens	52.00	44	3	0	9	5	4	4	0	0	0	0	10	10	0	1	
Stockholm	109.48	100	3	5	20	11	9	8	1	0	0	0	22	20	2	1	
Prague	59.10	54	3	0	9	6	3	3	0	0	0	0	9	9	0	1	
Bucharest	62.31	45	4	1	11	5	6	6	0	0	0	0	13	12	1	2	
St Petersburg	104.17	54	4	0	13	7	6	6	0	0	0	0	15	15	0	1	
Hong-Kong	90.97	53	7	0	17	7	10	10	0	0	0	0	20	18	2	3	
Buenos Aires	48.94	63	5	0	12	8	4	2	2	0	0	0	13	13	0	2	
Lyon	29.30	39	4	0	10	6	4	4	0	0	0	0	10	10	0	3	
Lisbon	37.03	44	4	0	11	7	4	4	0	0	0	0	11	11	0	2	
Mexico City	177.10	151	11	0	35	12	23	15	7	1	0	0	47	47	0	2	
Barcelona	102.60	123	9	0	29	11	18	14	7	2	0	0	44	42	2	3	
Berlin	151.70	170	9	0	32	14	18	15	2	1	0	0	45	43	2	3	
Osaka	125.42	121	8	0	36	12	24	22	2	0	0	0	53	53	0	3	
Paris	211.30	297	14	2	77	23	54	37	11	3	2	0	137	126	11	3	
Madrid	226.70	190	13	0	46	10	36	27	8	1	0	0	82	81	1	3	
Chicago	173.08	151	8	1	24	11	13	5	4	2	1	1	47	29	18	3	
London	438.73	306	13	18	83	27	56	36	13	5	1	1	155	125	30	2	
Shanghai	225.00	162	8	0	22	10	12	7	5	0	0	0	32	29	3	3	
Moscow	282.50	173	12	0	42	14	28	20	7	1	0	0	67	65	2	2	
New York City	368.05	422	9	14	73	26	47	33	7	5	2	0	130	109	21	3	
Tokyo	292.38	202	13	2	61	16	45	31	9	3	2	0	119	111	8	2	
Seoul	287.00	286	11	4	71	17	54	50	4	0	0	0	135	134	1	3	
Hanoi	69.7	26	4	6	11	5	6	5	0	0	0	0	13	13	0	2	

Bảng 4. Đánh giá và so sánh mạng lưới tàu điện Hà Nội theo 3 nhóm chỉ tiêu

Mạng lưới tàu điện	Mức phát triển mạng lưới (State)		Dạng thức mạng lưới (Form)		Kết cấu mạng lưới (Structure)	
	Độ phức tạp (Complexity)	Mức độ kết nối (Degree of connectivity)	Chiều dài tuyến tb (Av. line length)	K/cách tb các ga (Av. station spacing)	Tính kết nối cấu trúc (Structural connectivity)	Tính trực tiếp (Directness)
	β	γ	A (km)	S (km)	ρ	τ
Brussels	1.22	0.52	13.17	0.67	0.75	3.00
Washington	1.47	0.56	34.23	1.99	0.88	5.00
Toronto	1.10	0.46	17.19	1.00	0.80	1.33
Montreal	1.10	0.46	15.21	0.89	1.25	2.00
Boston	1.10	0.40	20.51	0.88	1.15	1.67
Marseille	1.00	0.50	9.50	0.79	1.00	2.00
Delhi	0.88	0.39	22.67	1.15	1.00	1.50
Singapore	1.08	0.43	22.35	1.40	0.83	1.33
Cairo	1.00	0.50	32.75	1.24	1.00	2.00
Rome	0.80	0.44	17.47	0.74	1.00	2.00
Milan	1.07	0.42	24.69	0.85	1.00	3.00
Athens	1.11	0.48	17.33	1.18	1.00	3.00
Stockholm	1.10	0.41	36.49	1.09	0.89	3.00
Prague	1.00	0.43	19.70	1.09	1.00	3.00
Bucharest	1.18	0.48	15.58	1.38	0.83	2.00
St Petersburg	1.15	0.45	26.04	1.93	1.00	4.00
Hong-Kong	1.18	0.44	13.00	1.72	0.80	2.33
Buenos Aires	1.08	0.43	9.79	0.78	1.50	2.50
Lyon	1.00	0.42	7.33	0.75	1.00	1.33
Lisbon	1.00	0.41	9.26	0.84	1.00	2.00
Mexico City	1.34	0.47	16.10	1.17	1.39	5.50
Barcelona	1.52	0.54	11.40	0.83	1.22	3.00
Berlin	1.41	0.50	16.86	0.89	1.11	3.00
Osaka	1.47	0.52	15.68	1.04	1.08	2.67
Paris	1.78	0.61	15.09	0.71	1.20	4.67
Madrid	1.78	0.62	17.44	1.19	1.25	4.33
Chicago	1.96	0.71	21.63	1.15	0.77	2.67
London	1.87	0.64	33.75	1.43	1.00	6.50
Shanghai	1.45	0.53	28.13	1.39	1.17	2.67
Moscow	1.60	0.56	23.54	1.63	1.25	6.00
New York	1.78	0.61	40.89	0.87	1.04	3.00
Tokyo	1.95	0.67	22.49	1.45	1.29	6.50
Seoul	1.90	0.65	26.09	1.00	1.06	3.67
Hanoi	1.18	0.48	17.43	1.68	1.00	2.00



4. Kết luận

Bài báo trình bày cách thức mô hình hóa dưới dạng đồ thị và trên cơ sở đó tiến hành phân tích đánh giá sơ bộ mạng lưới tàu điện Hà Nội dự kiến đầu tư trước 2020.

Tác giả đánh giá hình học mạng lưới tàu điện Hà Nội theo 3 nhóm chỉ tiêu của lý thuyết đồ thị, kết quả tổng hợp ở Bảng 3,4 cho thấy sự khả thi trong việc áp dụng cách tiếp cận này: nhóm chỉ tiêu mức độ phát triển của mạng lưới (độ phức tạp, mức độ kết nối); nhóm chỉ tiêu dạng thức mạng lưới (chiều dài trung bình tuyến, số ga, khoảng cách trung bình giữa các ga); nhóm chỉ tiêu kết cấu mạng lưới (tính kết nối cấu trúc, tính trực tiếp, diện phục vụ). Các chỉ tiêu về hình học mạng lưới là một phần trong đánh giá hệ thống tàu điện đô thị. Lợi thế của các chỉ tiêu này là có thể đưa ra được một số kết luận tổng thể trong khi đòi hỏi cơ sở dữ liệu không lớn và có thể so sánh với các mạng lưới khác.

Kết quả nghiên cứu cho thấy năng lực kết nối còn hạn chế của mạng lưới tàu điện Hà Nội dự kiến đầu tư trước năm 2020. Tuy vậy, phát triển tàu điện là một quá trình dài nên những hạn chế đó là dễ hiểu. Các kết quả tính toán cho thấy tương quan định lượng rõ hơn và những hướng đầu tư để có mạng lưới ngày càng hoàn chỉnh.

Phương pháp tiếp cận này hoàn toàn có thể áp dụng trong đánh giá mạng lưới tàu điện dự kiến xây dựng ở các thành phố lớn Việt Nam và so sánh với các thành phố lớn trên thế giới.

Tài liệu tham khảo

1. Quyết định số 1259/QĐ-TTg ngày 26/7/2011 phê duyệt quy hoạch chung xây dựng thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến 2050.
2. Nguyễn Việt Phương, Hoàng Tùng, Vũ Hoài Nam (2013), “Ứng dụng lý thuyết đồ thị trong mô hình hoá và đánh giá hình học mạng lưới tàu điện đô thị”, *Tạp chí Cầu đường*, Số 7.
3. Vũ Hoài Nam, Ngô Thị My (2011), *Đề xuất giải pháp thiết kế tuyến xe buýt theo diện phục vụ ở các thành phố lớn Việt Nam*, Luận văn thạc sĩ.
4. Sybil Derrible, Christopher Kennedy (2010), “Characterizing metro networks: state, form, and structure”, *Transportation*, 37:275–297.
5. Vuchic, V.R. (2005), *Urban transit: operations, planning, and economics*, Wiley, New Jersey.
6. Laporte G, Mesa JA, Perea F (2011), “Designing robust rapid transit networks with alternative routes”, *Journal of Advanced Transportation*, 2011;45:54–65.