

Nghiên cứu về tính kết nối của mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội dựa trên cách tiếp cận phân tích mạng giao thông

■ TS. BÙI TIẾN THIÊM

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo nghiên cứu về tính kết nối của mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội dựa trên cách tiếp cận phân tích mạng lưới. Trên cơ sở phân tích, những tuyến đường quan trọng, những nhà ga và các kết nối trọng yếu sẽ được thảo luận. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để đánh giá mức độ ưu tiên trong xây dựng và quản lý khai thác.

TỪ KHÓA: Đường sắt đô thị Hà Nội, tính kết nối, phân tích mạng giao thông.

ABSTRACT: This paper conducted a study on the connectivity of the Hanoi Metro based on the network analysis approach. The results of this research would show the important lines, key stations and links in the Hanoi Metro network. These results could be used to evaluate the priority in construction and management.

KEYWORDS: Hanoi Metro, connectivity, network analysis.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phát triển hệ thống giao thông công cộng được xem là giải pháp hữu hiệu giúp phòng tránh TNGT và giảm UTGT tại các thành phố lớn. Việc hạn chế các phương tiện cá nhân, đồng thời tổ chức các loại hình vận tải hành khách công cộng là xu thế nhằm phát triển giao thông đô thị bền vững tại những đô thị lớn. Với Thủ đô Hà Nội, việc ưu tiên phát triển hệ thống vận tải hành khách công cộng khối lượng lớn đã được HĐND TP. Hà Nội đặc biệt chú ý và thể hiện trong Nghị quyết số 07/2019/NQ-HĐND. Bên cạnh đó, Quy hoạch GTVT Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến 2050 [1] xác định hệ thống đường sắt đô thị đóng vai trò tạo nên bộ khung xương sống hoàn chỉnh cho hệ thống giao thông của Thủ đô, tạo cơ hội phát triển toàn diện kinh tế - xã hội, văn hóa, chính trị. Trong hệ thống giao thông công cộng tại Hà Nội trong tương lai, mạng lưới đường sắt đô thị nhận được nhiều sự kỳ vọng sẽ thay đổi diện mạo Thủ đô, giải quyết ùn tắc... Theo quy hoạch, Hà Nội sẽ có 8 tuyến đường sắt đô thị bao gồm các tuyến đi trong khu vực trung tâm và các tuyến kết nối đến các đô thị vệ tinh và vùng ven. Hệ thống đường sắt với khả năng kết nối cao có thể cung cấp các dịch vụ logistics hiệu quả, do đó được coi là nền tảng của các hoạt động kinh tế. Kết nối là một đánh giá hiệu quả của hệ thống đường sắt thông qua việc đo lường mức độ kết nối của các ga với nhau thông qua chuyển động của phương tiện

và luồng hành khách. Việc nghiên cứu đánh giá tính kết nối của hệ thống đường sắt là rất quan trọng. Qua đó, hiệu suất, độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống được thể hiện. Hơn thế nữa, việc phân tích sẽ là kết quả quan trọng cho việc đánh giá mức độ quan trọng của các ga và các liên kết trên tuyến phục vụ cho công tác quản lý sau này.

Có nhiều cách tiếp cận để mô tả đặc điểm kết nối của hệ thống GTVT, chẳng hạn như mô phỏng, phân tích kinh tế lượng, nghiên cứu lý thuyết kinh tế, phân tích mạng... Trong số các cách tiếp cận này, phân tích mạng có tính trực quan và dễ hiểu vì nhiều vấn đề về GTVT (ví dụ: lập kế hoạch phương tiện, phân tích rủi ro, ra quyết định đầu tư vốn) liên quan đến một số dạng mạng. Trong các tuyến đường sắt đô thị tại Hà Nội, mới chỉ có tuyến đường sắt Cát Linh - Hà Đông được đưa vào khai thác. Do đó, rất khó để dùng các dữ liệu thực tế về luồng giao thông, lưu lượng hành khách để đánh giá tính kết nối và hiệu suất hoạt động của mạng lưới. Trong tình hình đó, phân tích mạng (network analysis) là một phương pháp tiếp cận trực quan và có thể giải thích được để xác định đặc điểm kết nối của hệ thống đường sắt. Thông thường, hệ thống đường sắt có thể được mô hình hóa như một mạng lưới đường sắt: mỗi nút đại diện cho một ga duy nhất; mỗi cạnh kết nối hai nút đại diện cho sự tồn tại của kết nối (còn gọi là sự tồn tại của đường ray) giữa hai nhà ga tương ứng. Dựa trên đại diện mạng của các hệ thống giao thông, có một số chỉ số kết nối dựa trên khoa học về mạng và lý thuyết đồ thị, chẳng hạn như kết nối cạnh (edge connectivity), kết nối nút (node connectivity), độ dài đường đi ngắn nhất trung bình (average shortest route length), kết nối đại số (algebraic connectivity) [2], hiệu quả tổng thể mạng lưới (global efficiency) [3]... Các kết quả tính toán đều dựa trên mạng lưới tuyến đường nên khá tương đồng. Do dữ liệu về mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội chủ yếu nằm trên quy hoạch nên một số thông số (thời gian đi lại, độ dài tuyến đường...) của mạng lưới bị hạn chế, bài báo chỉ tập trung phân tích dựa trên kết nối đại số (algebraic connectivity).

Đầu tiên, bài báo sẽ tập trung phân tích về kết nối đại số và ứng dụng của nó trong phân tích hệ thống mạng lưới giao thông. Tiếp theo, những ứng dụng của cách tiếp cận này vào việc phân tích mạng lưới đường sắt đô thị tại Hà Nội sẽ được đưa ra. Trên cơ sở phân tích, những tuyến đường quan trọng, những nhà ga và các kết nối trọng yếu sẽ được thảo luận. Kết quả có thể xác định các phần quan trọng trên mạng lưới để quản lý mức độ ưu tiên trong xây dựng và khai thác.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, một mạng lưới đường sắt (G) với $N = \{1, 2, \dots, i, j, \dots, m, n\}$ ga, $A = \{12, \dots, i j, \dots, gh, \dots, mn\}$ liên kết được xem xét. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng ở đây là dựa vào các lý thuyết về ma trận Laplace (Laplacian matrix) và kết nối đại số (Algebraic connectivity) để phân tích các liên kết quan trọng trên mạng lưới.

2.1. Ma trận Laplace

Ma trận Laplace là một phần của lý thuyết đồ thị, nghiên cứu các cấu trúc toán học liên quan và mục đích để lập mô hình các cặp của hai đối tượng sau đó lập mô hình mạng trên quy mô lớn hơn, Laplacian của mạng lưới G có thể minh họa bằng ma trận:

$$L(G) = D(G) - A(G) \tag{1}$$

Trong đó: $L(G)$ - Ma trận Laplace của G; $D(G)$ - Ma trận đường chéo hoặc ma trận độ có các thành phần là bậc của các đỉnh (ga), có thể hiểu là số liên kết được kết nối từ ga; $A(G)$ - Ma trận kề của G, xác định các liên kết được liên kết của mỗi nút $a_{ij} = 1$ nếu nút i được kết nối với nút j và $a_{ij} = 0$ nếu ngược lại.

Trên ma trận Laplace $L(G)$, các phần tử đường chéo l_{ij} của L bằng bậc của nút i và các phần tử ngoài đường chéo, thu được từ ma trận kề, $l_{ij} = 1$ nếu nút i được kết nối với nút j và 0 nếu không, vì vậy nó có thể kết luận bằng:

$$l_{i,j} = \begin{cases} deg(i) & \text{nếu } i = j \\ -1 & \text{nếu } i \neq j \text{ và } i \text{ được kết nối với } j \\ 0 & \text{các trường hợp còn lại} \end{cases} \tag{2}$$

Trong đó: $deg(i)$ là bậc của nút i.

2.2. Kết nối đại số

Kết nối đại số là giá trị riêng nhỏ nhất thứ hai (λ_2) từ ma trận Laplace của đồ thị G, mục đích để đo mức độ kết nối của mạng. Theo Fiedler [4], nếu cho phần tử $e = (1, \dots, 1)$ và W là tập hợp các cột của vector x, thì giá trị riêng nhỏ nhất thứ hai có thể kết luận rằng:

$$\lambda_2 = \min_{x \in W} x^T L(G) x \tag{3}$$

Kết nối đại số của một mạng lưới đường sắt $G(\lambda_2(G))$ sẽ nhận giá trị 0 ($\lambda_2(G) = 0$) khi mạng bị tách biệt khi đó. Nói cách khác, nếu bất kỳ liên kết nào trong mạng bị loại bỏ và làm cho mạng bị tách biệt, kết nối đại số sẽ bằng 0. Và $\lambda_2(G) = n$ khi mạng G được kết nối hoàn toàn.

2.3. Đánh giá mức độ quan trọng của các liên kết

Để đánh giá mức độ quan trọng của các liên kết dựa vào lý thuyết về ma trận Laplace và kết nối đại số, chúng ta có thể dựa vào phương pháp đánh giá kịch bản. Ở kịch bản nghiên cứu (Hình 2.1), một liên kết trên mạng lưới sẽ được giả sử bị loại ra khỏi hệ thống mạng lưới giao thông (có thể do xây dựng, sửa chữa hoặc do sự cố). Khi đó, ma trận Laplace và kết nối đại số của hệ thống mạng giao thông sẽ thay đổi.



Hình 2.1: Ví dụ về kịch bản nghiên cứu

Dựa trên cơ sở đó, thuật toán để đánh giá mức độ quan trọng của các liên kết ở trên mạng lưới đường sắt đô thị được thể hiện như sau:

Bước 1: Phân tích khả năng kết nối đại số trên toàn bộ mạng, biểu thị là $\lambda_2(G)_{góc}$.

Bước 2: Sử dụng phương pháp kịch bản để mô phỏng trường hợp liên kết cụ thể giữa ga i và j khỏi hệ thống giao thông như trong ví dụ.

Bước 3: Tính toán kết nối đại số của mạng còn lại sau khi loại bỏ liên kết giữa ga i và j, biểu thị là $\lambda_2(G)_{i,j}$.

Bước 4: Tính toán mức độ quan trọng của liên kết giữa i và j ($V_{A,i,j}$) bằng công thức:

$$V_{A,i,j} = \frac{|\lambda_2(G)_{góc} - \lambda_2(G)_{i,j}|}{\lambda_2(G)_{góc}} \times 100\% \tag{4}$$

Có thể thấy rằng $V_{A,i,j}$ càng cao thì mức độ quan trọng của liên kết ij càng lớn.

3. PHÂN TÍCH TÍNH KẾT NỐI CỦA MẠNG LƯỚI ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ HÀ NỘI

3.1. Tổng quan về quy hoạch mạng lưới đường sắt đô thị Hà Nội

Mạng lưới đường sắt đô thị khu vực đô thị trung tâm Hà Nội gồm 8 tuyến với tổng chiều dài khoảng 318 km [5]. Trong các tuyến đó, mới chỉ có tuyến Cát Linh - Hà Đông đã hoàn thành và đang được khai thác, tuyến Nhổn - Ga Hà Nội đang được thi công, các tuyến còn lại (tuyến số 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8) đều chưa được triển khai. Sơ đồ tổng thể các tuyến được thể hiện như sau:



Hình 3.1: Các tuyến đường sắt đô thị theo quy hoạch ở Hà Nội

Tuyến số 1 gồm hai nhánh: Ngọc Hồi - Ga trung tâm Hà Nội - Gia Lâm - Yên Viên và Gia Lâm - Dương Xá (Phú Thụy). Theo quy hoạch, tuyến có chiều dài khoảng 36 km với tổng mức đầu tư 44.000 tỷ đồng. Tuyến số 2 (Nội Bài - Thượng Đình - Bưởi) bao gồm cả đoạn kéo dài đến Sóc Sơn và tuyến số 2A (Cát Linh - Hà Đông). Tuyến này có tuyến số 2A dài 13 km đã hoàn thành sau 10 năm khởi công và đã đi khai thác ngày 06/01/2021. Sau một thời gian hoạt động, tuyến đường sắt đô thị Cát Linh - Hà Đông đã đảm bảo chạy tàu an toàn tuyệt đối, được đồng bào người dân ủng hộ và đón nhận một phương thức vận tải hành khách công cộng tiên tiến, hiện đại, lần đầu

