

MODELING INTEGRATED PUBLIC TRANSPORTATION AND APPLICATION IN FINDING THE FASTEST ROUTE IN HANOI

Le Phuong Thuy*, Tran Quoc Binh, Bui Ngoc Tu, Pham Le Tuan, Nguyen Xuan Linh

VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 29/12/2024	A public transportation system that integrates different transport modes has become crucial to guarantee convenient and sustainable travel. This paper aims to build a logical model for integrating types of public transportation (bicycles, buses, urban railways) based on the connectivity of stops. The main methods used are Network Analyst to build multimodal urban mobility and find the fastest route, and Space Syntax to measure spatial structure. The results of the research: 1) measured the integration value and connectivity level of public transportation types at 366 stops in Hanoi; 2) worked on building a digital map database to support users in finding the fastest route between two or more locations by combining multiple modes of transportation in Hanoi (bus – bicycle, urban railways – bus). In the future, the study will develop a real-time guidance system and further analyze the integration of stops in relation to the transport network and land use issues.
Revised: 27/03/2025	
Published: 13/04/2025	
KEYWORDS	
Public transportation	
Integrated model	
The fastest route	
Network analyst	
Space Syntax	

MÔ HÌNH TÍCH HỢP CÁC LOẠI HÌNH GIAO THÔNG CÔNG CỘNG VÀ ỨNG DỤNG TRONG BÀI TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TẠI THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Lê Phương Thúy*, Trần Quốc Bình, Bùi Ngọc Tú, Phạm Lê Tuấn, Nguyễn Xuân Linh

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQG Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 29/12/2024	Một hệ thống giao thông công cộng tích hợp các loại hình di chuyển khác nhau đang ngày càng trở nên quan trọng tại các đô thị để đảm bảo việc di chuyển thuận tiện và bền vững. Nghiên cứu này đặt mục tiêu xây dựng mô hình logic của việc tích hợp một số loại hình giao thông công cộng (xe đạp, xe buýt, đường sắt đô thị) dựa trên sự kết nối của các trạm dừng. Phương pháp chính được sử dụng là phân tích mạng Network Analyst để xây dựng mô hình giao thông đa phương thức, tìm đường đi nhanh nhất; và phân tích cấu trúc không gian Space Syntax. Kết quả của nghiên cứu: 1) đã đo lường được giá trị tích hợp và mức kết nối loại hình giao thông công cộng tại 366 trạm dừng trên địa bàn thành phố Hà Nội; 2) thử nghiệm xây dựng bản đồ số hỗ trợ người sử dụng tìm đường đi nhanh nhất giữa hai hoặc nhiều địa điểm khi kết hợp nhiều loại hình di chuyển trên địa bàn thành phố Hà Nội (xe buýt – xe đạp công cộng, đường sắt đô thị - xe buýt). Trong tương lai, nghiên cứu sẽ phát triển hệ thống theo chỉ dẫn thời gian thực và phân tích sâu hơn tính tích hợp của các trạm dừng trong mối quan hệ với mạng lưới giao thông và vấn đề sử dụng đất.
Ngày hoàn thiện: 27/03/2025	
Ngày đăng: 13/04/2025	
TỪ KHÓA	
Giao thông công cộng	
Mô hình tích hợp	
Tìm đường nhanh nhất	
Network Analyst	
Space Syntax	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11779>

* Corresponding author. Email: lephuongthuy@hus.edu.vn

1. Giới thiệu

Để góp phần phát triển giao thông đô thị bền vững, việc đầu tư hệ thống giao thông công cộng (GTCC) đồng bộ, hiện đại, tận dụng hiệu quả không gian đô thị, tăng cường mức độ linh hoạt [1] và tính tích hợp [2] được coi là một trong số giải pháp hữu ích. Một hệ thống GTCC tích hợp có 05 đặc trưng chính: (a) tích hợp mạng lưới hay còn gọi là tích hợp cơ sở hạ tầng, (b) tích hợp giá vé thể hiện khía cạnh tích hợp kinh tế tài chính, (c) tích hợp thông tin, (d) tích hợp vật lý các nhà ga, trạm dừng thể hiện khía cạnh tích hợp không gian, và (e) tích hợp lịch trình để đảm bảo thời gian đi lại [2]. Stephan Krygsman và cộng sự [3] đã chỉ ra khả năng tiếp cận và rời khỏi của từng loại phương tiện trong chuyến đi giao thông tích hợp đa phương thức ảnh hưởng đến việc lựa chọn phương tiện GTCC cũng như tổng thời gian đi lại. Khả năng tiếp cận đối với GTCC được các nghiên cứu thể hiện ở 2 dạng: (i) khoảng cách, thời gian vật lý [4] hoặc (ii) dạng cấu hình topo [5], [6]. Ở dạng thứ nhất, công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) là phương pháp chủ đạo để phục vụ đo lường và lập bản đồ khả năng tiếp cận của người dùng tới các phương tiện GTCC như xe buýt, tàu điện ngầm theo không gian, thời gian [4], [7]; xây dựng hệ thống giao thông thông minh tìm đường đi ngắn nhất, nhanh nhất [8], [9]; cung cấp nền tảng thông tin đa phương tiện chia sẻ giao thông đô thị [10]. Ở dạng thứ hai, phương pháp phân tích cấu trúc không gian Space Syntax được ứng dụng để tính giá trị tích hợp của các tuyến đường phố, thể hiện mức độ mà tuyến đường phố hay không gian xung quanh nó được kết nối với các không gian khác trong khu vực xác định [5], [6]. José Carpio-Pinedo [11] đã chỉ ra thuộc tính tích hợp của mạng lưới giao thông là một trong số yếu tố có sức hấp dẫn với người đi bộ và được sử dụng trong mô hình dự báo nhu cầu sử dụng xe buýt ở cấp độ các trạm dừng. Tại thành phố Hà Nội, lượng phương tiện xe cá nhân tham gia giao thông mỗi ngày tăng mạnh, dẫn đến gia tăng tình trạng ùn tắc và ô nhiễm môi trường. Vì vậy, việc phát triển và lựa chọn loại hình giao thông công cộng càng được ưu tiên. Đặc biệt là tính kết nối đồng bộ các loại hình vận tải hành khách công cộng tại các ga đã được đề cập trong quy hoạch giao thông vận tải Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 [12]. Hiện nay tại Hà Nội, một số loại hình GTCC đã phát triển bao gồm hệ thống xe buýt, đường sắt đô thị trên cao và xe đạp công cộng. Có thể nhận thấy, nếu xét riêng từng loại phương tiện GTCC thì đã có một số ứng dụng hướng dẫn cách thức di chuyển, đề xuất lộ trình phù hợp cho người dân như Tìm Buýt (TimBus), Moovit, Google Map với phương tiện xe buýt, đường sắt đô thị, ứng dụng TNGo đối với xe đạp công cộng do tập đoàn Trí Nam phát triển. Tuy nhiên, nếu người sử dụng muốn kết hợp cả ba loại hình GTCC trong quá trình di chuyển thì hiện nay chưa có công cụ hỗ trợ tổng thể.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng mô hình logic về việc tích hợp một số loại hình GTCC ở khía cạnh không gian, dựa trên sự kết nối của các điểm trạm dừng. Từ đó, ứng dụng công nghệ GIS để thử nghiệm hệ thống bản đồ số tích hợp các loại hình GTCC (xe đạp, xe buýt, đường sắt đô thị trên cao) trên địa bàn thành phố Hà Nội, giúp người sử dụng tìm đường đi nhanh nhất giữa hai hoặc nhiều địa điểm (áp dụng trong thời gian thấp điểm). Việc phân bố các điểm dừng chuyển tuyến là một chỉ số quan trọng trong việc triển khai các loại hình GTCC [13]. Trong nghiên cứu này, hiện trạng các điểm trạm dừng được đánh giá theo giá trị tích hợp của mạng lưới giao thông và số lượng kết nối các loại hình di chuyển, làm cơ sở để các nhà quy hoạch tối ưu hóa sự phân bố các điểm trạm dừng trong hệ thống giao thông đa phương thức.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình logic tích hợp giao thông công cộng

Để mô hình hóa hệ thống giao thông đa phương thức, cách tiếp cận được sử dụng rộng rãi là xem xét từng loại hình di chuyển xe buýt, đường sắt trên cao như là những lớp trong hệ thống [14]. Phương pháp chính được sử dụng là phân tích mạng lưới với sự hỗ trợ của công cụ Network Analyst trong phần mềm ArcGIS. Khi tạo một tập dữ liệu mạng lưới (Network Dataset) cần quan tâm đến các yếu tố: phần tử mạng, quy tắc kết nối và thuộc tính mạng. Phần tử mạng là các thành

phần tạo nên một mạng lưới, ví dụ đường phố, các tuyến xe buýt, tuyến đường sắt đô thị, các điểm trạm dừng. Quy tắc kết nối thể hiện cách kết nối của các nhóm đại diện cho từng loại hình di chuyển trong một hệ thống tổng thể. Một phần tử mạng có thể thuộc về nhiều nhóm và như vậy nó có chức năng liên kết giữa các nhóm với nhau. Thuộc tính mạng là các thông số của mạng lưới, trong đó quan trọng nhất là thuộc tính chi phí, thể hiện trở kháng di chuyển trong mạng lưới. Nghiên cứu này sử dụng thời gian di chuyển là chi phí để tìm tuyến đường đi nhanh nhất.

Để tích hợp được các loại hình di chuyển, nghiên cứu xây dựng mô hình logic của hệ thống như Hình 1. Trong mô hình logic này, lớp đường phố thể hiện riêng cho loại hình đi bộ. Các loại hình di chuyển như xe buýt, xe đạp công cộng, đường sắt đô thị đều có các trạm dừng gắn kết với lớp đường phố. Một cách tổng quát, khi đi từ điểm A đến điểm B bằng phương tiện GTCC tích hợp, thời gian di chuyển được tính như sau:

$$T = t_1 + \sum_{i=1}^n t_{2i} + \sum_{i=1}^n t_{3i} + \sum_{i=1}^n t_{4i} + t_5 \quad (1)$$

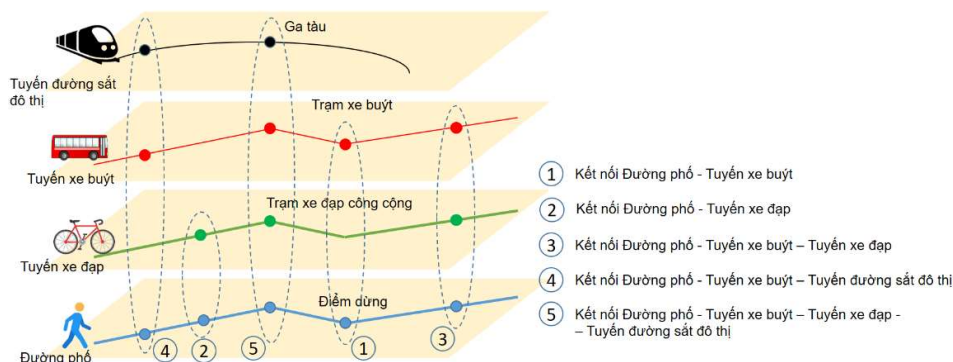
- t_1 : thời gian đi bộ từ điểm xuất phát đến trạm dừng gần nhất (bằng quãng đường chia cho vận tốc đi bộ trung bình - khoảng 4 km/h);

- t_{2i} : thời gian để tiếp cận (đi vào) loại hình di chuyển i , với n là tổng số lượng các loại hình GTCC được sử dụng (từ 1 đến 3). Đối với loại hình xe buýt, t_2 là một nửa khoảng thời gian giữa 2 xe liên tiếp của tuyến cần đi; đối với đường sắt trên cao, t_2 là một nửa khoảng thời gian giữa 2 lần tàu chạy; đối với loại hình xe đạp công cộng, thời gian này gần như bằng 0. Trong một số trường hợp cần chuyển loại hình di chuyển, thời gian này còn bao gồm việc đi bộ đến điểm trạm dừng của loại hình di chuyển mới.

- t_{3i} : tổng thời gian đi trên từng loại hình di chuyển (theo số liệu thực tế thử nghiệm, đối với loại hình xe đạp công cộng thì bằng quãng đường chia cho vận tốc đạp xe trung bình - khoảng 12 km/h);

- t_{4i} : thời gian ra khỏi các loại hình di chuyển (giả thiết gần bằng 0);

- t_5 : thời gian đi bộ từ trạm dừng của loại hình di chuyển cuối đến điểm cần đến (tương tự t_1).



Hình 1. Mô hình logic tích hợp một số loại hình giao thông công cộng

Thông tin về một số dạng kết nối thể hiện trên Hình 1 như sau:

- Số 1: Kết nối “Đường phố - Tuyến xe buýt”. Trong trường hợp sử dụng phương tiện xe buýt, trạm xe buýt là điểm kết nối giữa tuyến đường phố và tuyến xe buýt.

- Số 2: Kết nối “Đường phố - Tuyến xe đạp” áp dụng trong trường hợp sử dụng phương tiện xe đạp công cộng. Các trạm xe đạp công cộng là điểm kết nối của chuyến đi từ lúc mượn xe đến khi trả xe. Đây là phương tiện công cộng linh hoạt, tính phí theo thời gian sử dụng xe.

- Số 3: Kết nối “Đường phố - Tuyến xe buýt - Tuyến xe đạp” được sử dụng khi kết hợp 2 phương tiện xe buýt và xe đạp công cộng để di chuyển. Theo tính chất tích hợp về cơ sở hạ tầng, ở Việt Nam, các trạm xe đạp công cộng thường được bố trí ở gần các trạm xe buýt. Tuy nhiên, không phải trạm xe buýt nào cũng gần trạm xe đạp công cộng. Do vậy, chỉ những trạm xe buýt có tích hợp với trạm xe đạp công cộng chính là điểm kết nối của hai loại hình di chuyển này. Stephan Krygsman và cộng sự [3] chỉ ra rằng đối với hầu hết các chuyến đi đa phương thức, tỷ lệ

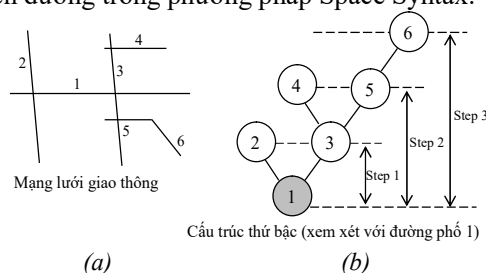
kết nối (thể hiện tổng thời gian đi vào/rời khỏi của các loại hình di chuyển so với tổng thời gian đi lại của chuyến đi) ở ngưỡng 0,2 - 0,5 là chấp nhận được. Vì vậy, nếu giả thiết khoảng cách giữa hai bến xe buýt là chuyến đi, và cũng là ngưỡng khoảng cách lớn nhất để chuyển tuyến (theo quy định trong phạm vi 500 m [15]) thì người đi bộ có thể chấp nhận thời gian để chuyển tuyến là 1,5 - 4 phút (trung bình 3 phút). Vậy trạm xe buýt và trạm xe đạp có khoảng cách trong phạm vi 200 m được coi là tích hợp.

- Số 4: Kết nối “Đường phố - Tuyến xe buýt - Tuyến đường sắt đô thị” được sử dụng khi kết hợp 2 phương tiện xe buýt và đường sắt đô thị để di chuyển. Những nhà ga có tích hợp với trạm xe buýt là điểm kết nối của 2 loại hình di chuyển này.

- Số 5: Kết nối “Đường phố - Tuyến xe buýt - Tuyến xe đạp - Tuyến đường sắt đô thị” khi sử dụng kết hợp tối đa 3 phương tiện để di chuyển. Tương tự, những nhà ga có tích hợp cả trạm xe buýt và trạm xe đạp là điểm kết nối của 3 loại hình di chuyển này. Kết nối dạng số 5 là hình thức tổng hợp nhất trong mô hình. Tuy nhiên, các kết nối dạng 1, 2, 3 và 4 là sự giải thích cụ thể hơn cho từng loại trạm dừng trên đường phố, cũng như áp dụng cho nhiều khu vực đô thị với trình độ phát triển GTCC khác nhau. Mỗi một trạm dừng có mức độ kết nối các loại hình GTCC không giống nhau. Xét về vận tải công cộng, mạng lưới xe buýt nhìn chung sẽ dày đặc hơn và hoạt động thường xuyên hơn so với mạng lưới đường sắt đô thị [14], hoặc xe đạp công cộng.

2.2. Phương pháp Space Syntax phân tích cấu trúc không gian mạng lưới giao thông

Để đo lường cấu trúc không gian mạng lưới giao thông, nghiên cứu sử dụng phương pháp Space Syntax xác định giá trị tích hợp của từng đoạn đường trong hệ thống. Phương pháp Space Syntax được phát triển bởi Hillier và Hanson vào những năm 1970 phục vụ nghiên cứu cấu hình không gian đô thị và những mối liên hệ với các hành vi, hoạt động xã hội [16]. Giá trị tích hợp cho biết mức độ tích hợp của không gian dựa trên thuật ngữ độ sâu “depth”, tính toán số lượng không gian và những thay đổi về hướng để tiếp cận được tất cả các không gian khác trong hệ thống [17]. Hình 2 minh họa cách chuyển đổi từ mạng lưới giao thông sang mối quan hệ thứ bậc theo các bước của các tuyến đường trong phương pháp Space Syntax.



Hình 2. Minh họa cách chuyển từ mạng lưới giao thông dạng đường (a) sang dạng cấu trúc thứ bậc các nút (b) trong Space Syntax

Ở đây, các tuyến đường có sự thay đổi cách thể hiện từ dạng line (Hình 2a) sang dạng các nút (vòng tròn đánh số ở Hình 2b). Nút số 2 và 3 liên kết trực tiếp với nút số 1 (chỉ qua 1 bước). Trong khi đó, nút số 4, 5 phải thông qua nút số 3 mới tiếp cận được với nút 1 (qua 2 bước). Tương tự, nút số 6 phải qua 3 bước mới tiếp cận được với nút số 1. Số bước này thể hiện ý nghĩa độ sâu về cách tiếp cận giữa 2 nút [5]. Độ sâu tổng thể (total depth - TD) của một nút i tới tất cả các nút khác trong hệ thống được tính là tổng của thứ tự từng bước nhân với số lượng các nút trong bước đó đưa tới [5]:

$$TD = \sum_{s=1}^m s \times N_s \quad (2)$$

trong đó, s là thứ tự bước, m là số bước tối đa, N_s là số lượng nút có thể tiếp cận bằng s bước tính từ nút i . Ví dụ ở Hình 2, nút 1 có độ sâu tổng thể bằng $(1 \times 2) + (2 \times 2) + (3 \times 1) = 9$. Giá trị tích hợp có ý nghĩa tỷ lệ nghịch với độ sâu tổng thể [15]. Giá trị độ sâu tổng thể của một nút mà

nhỏ cho biết khả năng tiếp cận đến nút đó dễ dàng, tức giá trị tích hợp cao và ngược lại.

Việc phân tích cấu trúc không gian mạng lưới giao thông trong nghiên cứu này được hỗ trợ bởi phần mềm DepthmapX do một số nhà khoa học thuộc trường Đại học London phát triển [16].

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

Một số quận nội thành của thành phố Hà Nội được nghiên cứu bao gồm quận Cầu Giấy, Tây Hồ, Ba Đình, Thanh Xuân, Đống Đa, Hoàn Kiếm, Hai Bà Trưng. Nghiên cứu tiến hành thu thập dữ liệu của 24 tuyến xe và 281 trạm dừng (đối với mô hình xe buýt); 73 trạm xe đạp; và tuyến đường sắt đô thị số 2A: Cát Linh – Hà Đông với 12 nhà ga trên cao. Các thông tin thuộc tính được thu thập dựa trên khảo sát thực tế và trên các trang web của Tổng công ty Vận tải Hà Nội (transerco.com.vn). Lớp dữ liệu bản đồ nền được sử dụng là bản đồ đường phố OpenStreetMap được tích hợp vào Bing Maps của hãng Microsoft. Bảng 1 thể hiện các thuộc tính của các lớp đối tượng trong cơ sở dữ liệu. Từ cơ sở dữ liệu này, nhóm nghiên cứu xây dựng một mạng lưới Network dataset với 4 nhóm kết nối (đường phố, tuyến xe buýt, tuyến xe đạp, tuyến đường sắt đô thị).

Bảng 1. Các lớp đối tượng trong cơ sở dữ liệu mạng giao thông công cộng

Tên lớp	Thuộc tính	Mô tả
DuongPho (đường phố)	Ten (Text), ChieuDai (Double), VanTocDiBo (Float)	Tên đường, Chiều dài đường phố, Vận tốc đi bộ trung bình.
TuyenXeDap (tuyến xe đạp)	Ten (Text), ChieuDai (Double), VanTocXuoi (Float), VanTocNguoc (Float)	Tên đường, Chiều dài đường phố, Vận tốc đạp xe chiều xuôi, Vận tốc đạp xe chiều ngược.
TramXeDap (trạm xe đạp)	DiaChi (Text), HuongDan (Text), TramBuyt (Text), NhaGa (Text), MinhHoa (Raster)	Địa chỉ, Hướng dẫn sử dụng, Xe buýt đi qua, Nhà ga (nếu có), Hình ảnh minh họa.
TuyenXeBuyt (tuyến xe buýt)	SoXe (Text), DiemDau (Text), DiemCuoi (Text), ThoiGianXuoi (Float), ThoiGianNguoc (Float), LenXuong (Integer), ChieuDai (Double)	Số xe, Điểm đầu tuyến, Điểm cuối, tuyến, Thời gian xe chạy chiều xuôi, Thời gian xe chạy chiều ngược, Lên/ xuống, Chiều dài tuyến xe buýt.
TramBuyt (trạm xe buýt)	CacXeBuyt (Text), DiaChi (Text), TramXeDap (Text), NhaGa (Text), MinhHoa (Raster)	Các xe buýt đi qua, Địa chỉ, Trạm xe đạp (nếu có), Nhà ga (nếu có), Hình ảnh minh họa.
TuyenDuongSatDoThi (tuyến đường sắt đô thị)	Ten (Text), DiemDau (Text), DiemCuoi (Text), ThoiGianXuoi (Float), ThoiGianNguoc (Float), LenXuong (Integer), ChieuDai (Double)	Tên tuyến, Điểm đầu tuyến, Điểm cuối tuyến, Thời gian tàu chạy chiều xuôi, Thời gian tàu chạy chiều ngược, Lên/ Xuống, Chiều dài tuyến đường sắt.

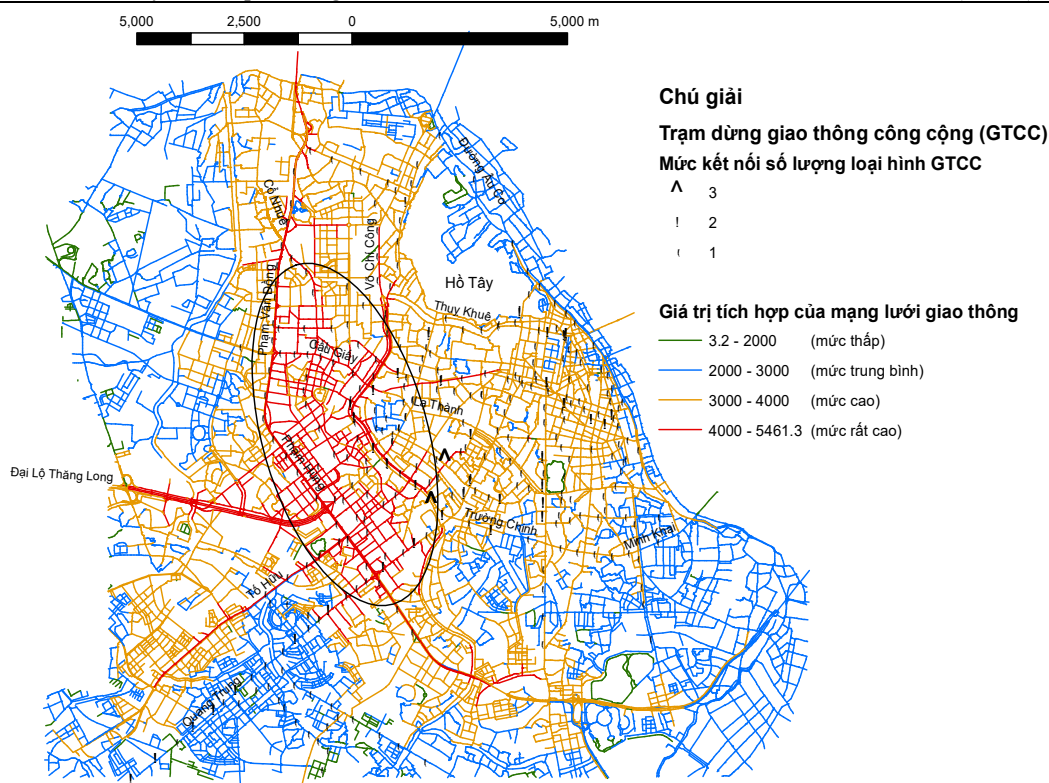
3.2. Giá trị tích hợp của các trạm dừng trên địa bàn nghiên cứu

Bảng 2 thống kê về hiện trạng kết nối các loại hình GTCC của 366 trạm dừng trên địa bàn nghiên cứu. Kết quả cho thấy các trạm dừng kết nối 3 loại hình GTCC chiếm tỷ lệ nhỏ nhất (0,62%). Các trạm dừng kết nối 2 loại hình GTCC cũng chiếm tỷ lệ nhỏ dưới 10%, còn lại chủ yếu là các trạm dừng có 01 loại hình đơn thức xe buýt hoặc xe đạp. Các trạm dừng này được thể hiện trên Hình 3 với các giá trị tích hợp của mạng lưới giao thông. Có thể thấy phần lớn các trạm dừng đều được bố trí ở các tuyến đường có giá trị tích hợp từ trung bình đến cao, rất cao. Một cách thông thường, những trạm dừng có số lượng kết nối của nhiều loại hình di chuyển nên được bố trí ở những tuyến đường có giá trị tích hợp cao. Tuy nhiên, một số tuyến đường có giá trị tích hợp cao, rất cao hiện chỉ có các trạm dừng ở mức kết nối 1 loại phương tiện GTCC. Ví dụ như khu vực đường Phạm Văn Đồng, Xuân Thủy, Cầu Giấy, Phạm Hùng, La Thành (vùng elip). Điều này có thể giải thích là khu vực đường Phạm Văn Đồng, Phạm Hùng thuộc tuyến đường vành đai 3 nên được ưu tiên cho những phương tiện đường dài, tốc độ cao. Khu vực đường Xuân Thủy, Cầu Giấy mặc

dù đã xây dựng các nhà ga của tuyến đường sắt đô thị số 3 (Nhổn – ga Hà Nội) nhưng hiện nay chưa đưa vào sử dụng. Ngoài ra, việc bố trí các trạm dừng của các loại hình GTCC còn phải xem xét đến yếu tố sử dụng đất xung quanh. Khu vực đường La Thành có quỹ đất dành cho vỉa hè hạn chế nên việc bố trí các trạm dừng của nhiều loại hình di chuyển sẽ khó khăn.

Bảng 2. Số lượng kết nối loại hình GTCC của trạm dừng

Mức kết nối số lượng loại hình GTCC	Số lượng trạm dừng	Tỷ lệ (%)	Dải giá trị tích hợp (giá trị trung bình)
Mức một	Xe buýt	241	74,38
	Xe đạp	43	13,27
Mức hai	Xe buýt - xe đạp	28	8,64
	Xe buýt – đường sắt đô thị	10	3,09
Mức ba	Xe buýt – xe đạp – đường sắt đô thị	2	0,62



Hình 3. Kết quả tính toán giá trị tích hợp của mạng lưới giao thông trên địa bàn nghiên cứu

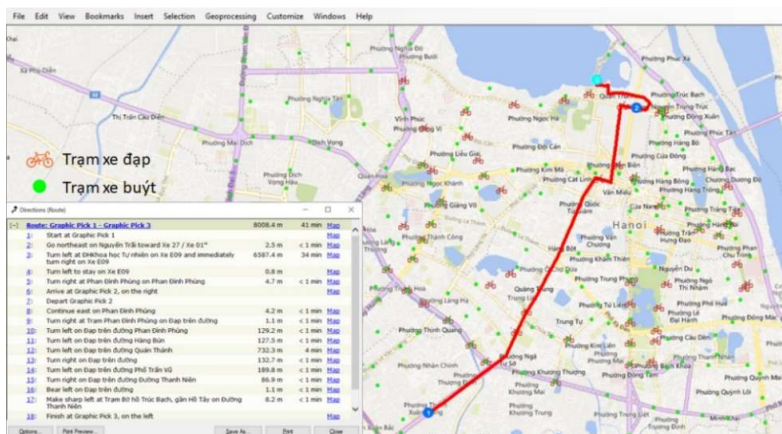
3.3. Thử nghiệm hệ thống tích hợp giao thông công cộng tìm đường đi nhanh nhất

Phần mềm ArcGIS phiên bản Desktop được sử dụng để thử nghiệm hệ thống.

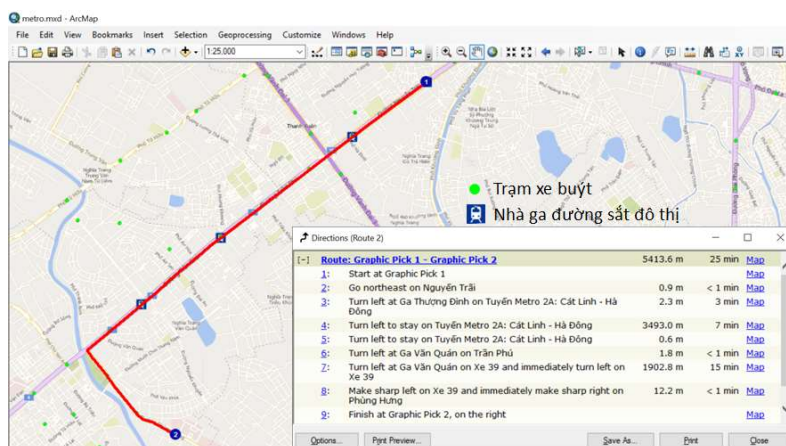
Tuyến thử nghiệm 1 với 3 điểm dừng Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHKHTN) – Hoàng thành Thăng Long – Hồ Tây có sử dụng 2 loại hình GTCC là xe buýt và xe đạp công cộng (Hình 4). Kết quả Hình 4 đề xuất cách thức di chuyển là đi xe buýt số E09 từ Trường ĐHKHTN và xuống xe ở trạm dừng đường Phan Đình Phùng. Sau đó, người sử dụng thuê xe đạp tại trạm xe đạp trên đường Phan Đình Phùng, đạp xe qua đường Hàng Bún, Quán Thánh, Trần Vũ, Thanh Niên đến trạm xe đạp gần Hồ Tây. Tổng quãng đường khoảng 8 km, thời gian di chuyển là 41 phút.

Tuyến thử nghiệm 2: Chợ Thượng Đình – Bệnh viện Quân Y 103 có sử dụng 2 loại hình GTCC đường sắt đô thị và xe buýt. Hệ thống hướng dẫn người sử dụng đi theo tuyến đường sắt

đô thị từ ga Thượng Đình đến ga Văn Quán (khoảng 10 phút), sau đó đi xe buýt số 39 xuống trạm dừng tại bệnh viện Quân Y 103 (khoảng 15 phút) (Hình 5). Tổng thời gian là 25 phút. Trong trường hợp này có một số cách đi khác nhau nhưng tuyến đường do hệ thống cung cấp là lựa chọn nhanh nhất (Bảng 3). Để kiểm chứng độ chính xác, nhóm nghiên cứu đã tiến hành đi thực tế và được kết quả như Bảng 4. Như vậy, sai số trung phương về thời gian do hệ thống cung cấp khoảng 3,6 phút.



Hình 4. Tuyến thử nghiệm từ Trường ĐHKHTN – Hoàng thành Thăng Long – Hồ Tây



Hình 5. Tuyến thử nghiệm kết hợp tuyến đường sắt đô thị – xe buýt từ ga Thượng Đình đến Bệnh viện 103

Bảng 3. Một số cách đi từ ga Thượng Đình đến Bệnh viện 103

Tuyến xe	Thời gian	Chiều dài
Xe buýt số 02, 39	35 phút	5412 m
Tuyến đường sắt đô thị 2A; xe buýt số 22B, 103A, 105	28-30 phút	5413 m
Tuyến đường sắt đô thị 2A; xe buýt số 39	25 phút	5413 m

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác

Tuyến thử nghiệm	ĐHKHTN – Hoàng thành Thăng Long – Hồ Tây	Ga Thượng Đình – Bệnh viện 103
Thời gian theo chỉ dẫn	41 phút	25 phút
Kiểm tra lần 1	38 phút	27 phút
Kiểm tra lần 2	45 phút	25 phút
Kiểm tra lần 3	43 phút	30 phút
Sai số trung phương	3,6 phút	2,5 phút

4. Kết luận

Một hệ thống GTCC tích hợp các loại hình di chuyển khác nhau đang ngày càng trở nên quan trọng tại các đô thị để đảm bảo việc di chuyển được thuận tiện và bền vững. Nghiên cứu này đã đề xuất mô hình logic khi tích hợp một số loại hình di chuyển như xe buýt, xe đạp công cộng, đường sắt đô thị từ góc độ các trạm dừng có tính kết nối. Một mặt, các trạm dừng được đo lường theo cấu trúc topo khi tính toán giá trị tích hợp theo các tuyến đường phổ bằng phương pháp Space Syntax, và phân ra 3 mức kết nối: mức 1 (xe buýt hoặc xe đạp), mức 2 (xe buýt - xe đạp; đường sắt đô thị - xe buýt), mức 3 (đường sắt đô thị - xe buýt - xe đạp). Mặt khác, các trạm dừng được mô hình hóa bằng mạng đa lớp và được thiết lập quy tắc kết nối giữa các lớp. Từ đó, nghiên cứu đã thử nghiệm thành lập bản đồ số về hệ thống GTCC hỗ trợ tìm đường đi nhanh nhất giữa hai hoặc nhiều địa điểm khi sử dụng kết hợp nhiều loại hình di chuyển trên địa bàn thành phố Hà Nội. Tuy nhiên, hệ thống chỉ đề xuất được phương án tối ưu theo tiêu chí thời gian ở tình trạng thấp điểm. Trong tương lai, nhóm nghiên cứu sẽ phát triển hệ thống tìm đường đi nhanh nhất khi thể hiện thông tin ở thời gian thực, cũng như tính chỉnh giao diện thân thiện hơn với người dùng. Sự tương quan giữa mức kết nối các loại hình di chuyển và giá trị tích hợp của mạng lưới đường phố cần nghiên cứu sâu hơn ở các nghiên cứu tiếp theo và có xem xét đến vấn đề về chức năng các tuyến đường, vấn đề sử dụng đất để phục vụ việc quy hoạch vị trí các loại trạm dừng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] J.-P. Rodrigue, *The Geography of Transport Systems*, 6th ed., Routledge, 2024.
- [2] S. Chowdhury, Y. Hadas, V. A. Gonzalez, and B. Schot, "Public transport users' and policy makers' perceptions of integrated public transport systems," *Transport Policy*, vol. 61, pp. 75-83, 2018.
- [3] S. Krygsman, M. Dijst, and T. Arentze, "Multimodal public transport: an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio," *Transport Policy*, vol. 11, pp. 265-275, 2004.
- [4] T. L. Lei and R. L. Church, "Mapping transit-based access: integrating GIS, routes and schedules," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 24, pp. 283-304, 2010.
- [5] C. Jun, J. H. Kwon, Y. Choi, and I. Lee, "An Alternative Measure of Public Transport Accessibility Based on Space Syntax," in *Advances in Hybrid Information Technology*, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 281-291.
- [6] S. Mahdzar, S. Saari, and S. Jaberolansar, "Planning Integrated Stop Transit for Pedestrian Using Space Syntax Analysis Case Study: Pasir Gudang City," in *14th International Congress of Asian Planning School Association*, Beijing, China, 2017, pp. 1-9.
- [7] N. Soldatke, M. Sydorów, and S. Żukowska, "Assessment of the accessibility of public transport in the Tricity (Poland): analytical use of geographical information systems (GIS) in the context of selected public transport measures," *International Journal of Digital Earth*, vol. 17, pp. 1-19, 2024.
- [8] M. D. Qoradi, M. S. Al-Harbi, and Y. A. Aina, "Using GIS-based intelligent transportation systems in the enhancement of university campus commuting in a smart city context," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, pp. 1-13, 2021.
- [9] B. Q. Tran and T. P. Le, "Development of Hanoi Bus Information system," *VNU Journal of Science: Earth Science*, vol. XXIII, pp. 17-27, 2007.
- [10] C. Ding, "Application of GIS technology in the construction of urban traffic sharing multimedia information platform," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, pp. 1-13, 2019.
- [11] J. Carpio-Pinedo, "Urban Bus Demand Forecast at Stop Level: Space Syntax and Other Built Environment Factors. Evidence from Madrid," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 160, pp. 205-214, 2014.
- [12] Prime Minister, "Decision No. 519/QĐ-TTg approving the transport plan of Hanoi capital to 2030, with a vision to 2050, 31st March 2016," (in Vietnamese), 2016.
- [13] Z. Huang, "A hierarchical process for optimizing bus stop distribution," *Urban, Planning and Transport Research*, vol. 2, pp. 162-172, 2014.
- [14] L. Alessandretti, L. G. N. Orozco, M. Saberi, M. Szell, and F. Battiston, "Multimodal urban mobility and multilayer transport networks," *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 50, pp. 2038-2070, 2022.
- [15] Vietnam Ministry of Construction, "Circular No. 01/2021/TT-BXD promulgating National Technical Regulation on Construction Planning, 19th May 2021," (in Vietnamese), 2021.
- [16] B. Hillier, *Space is the machine*. London: Space Syntax Ltd., 2007.
- [17] A. V. Nes and C. Yamu, *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*. Springer Cham, 2021.