

Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia TP. HCM
PiMA Research Camp 2016

Thiết kế hệ thống tàu điện ngầm ở Thành phố Hồ Chí Minh

Phạm Nguyễn Mạnh (*)

Hoàng Văn Thiên (**)

(*) Trường Phổ thông Năng khiếu Đại học Quốc gia TP. HCM

(**) Trường THPT Chuyên Lý Tự Trọng Cần Thơ

Tháng 8, 2016

MỤC LỤC

Tổng quan	3
1. Giới thiệu vấn đề	4
2. Giả thiết.....	5
3. Điều kiện ràng buộc.....	5
4. Tiếp cận.....	6
a. Mô hình cơ bản	6
b. Thực hiện các điều kiện ràng buộc.....	7
5. Các phương án đề xuất	9
a. Mô hình dự án thật của thành phố Hồ Chí Minh.....	10
b. Mô hình ưu tiên sự thuận tiện của hành khách và đảm bảo nhu cầu ở khu vực trung tâm:	11
6. Cải thiện bản đồ.....	12
7. Tham khảo.....	13

Tổng quan

Căn cứ theo dự án tàu điện ngầm của thành phố đã được phê duyệt và hiện đang tiến hành thi công, tại trại hè nghiên cứu PiMA 2016, chúng tôi đã bắt đầu nghiên cứu và lên kế hoạch cho một hệ thống đường ray với các tuyến và trạm sao cho phù hợp với những đặc điểm dân cư và địa hình của khu vực. Chúng tôi đã xây dựng một mô hình toán học để hỗ trợ cho việc đi lại của hành khách trong thành phố trở nên tiện lợi nhất có thể.

Chúng tôi tập trung ưu tiên hai vấn đề sau: một là, những vùng có nhu cầu di chuyển cao, chẳng hạn như sân bay, ga tàu hỏa, địa điểm du lịch; hai là, các trường đại học, nơi có nhiều khách hàng tiềm năng, bao gồm học sinh, sinh viên – những người từ trước đến nay quen đi lại bằng xe buýt.

Nhìn chung, tuyến đường sẽ trải theo hình đa giác lồi bao quanh các quận, đi qua các địa điểm như bến xe An Suông, bến xe Quận 8. Cùng với đó, các tuyến đường xuyên tâm cũng được xây dựng.

Chi phí ước tính có thể lên đến 2.9 tỷ USD, chỉ riêng lập phương án hỗ trợ kỹ thuật "Chuẩn bị dự án metro tại TP HCM" đã mất 2.2 triệu USD. Trong con số 2.2 này, Ngân hàng phát triển châu Á (ADB) viện trợ không hoàn lại 1.7 triệu đô-la Mỹ, Chính phủ góp 500,000 đô-la Mỹ, số còn lại là của thành phố và các nhà đầu tư.

Mặc dù chi phí xây dựng là khá đắt đỏ so với điều kiện kinh tế của Việt Nam, tuy nhiên chúng tôi tin rằng mọi sự mất mát về môi trường sẽ chính là một gánh nặng lớn của quốc gia; và việc đưa hòn ngọc Viễn Đông lên ngang tầm so với các đô thị lớn của thế giới là một ý tưởng không hề đáng bị xem nhẹ. Xây dựng tàu điện ngầm sẽ đem lại lợi ích lâu dài cho cả người dân lẫn chính quyền.

Trong tài liệu này, chúng tôi sẽ đặt ra các nguyên tắc thành lập hệ thống đường ray, đồng thời đưa ra một minh họa thỏa mãn. Ngoài ra, chúng tôi trình bày một phương pháp tiếp cận trong việc vẽ một bản đồ thân thiện đối với du khách.

1. Giới thiệu vấn đề

Thành phố Hồ Chí Minh (TP. HCM) là thành phố lớn nhất Việt Nam xét về quy mô dân số và mức độ đô thị hóa, đồng thời cũng là đầu tàu kinh tế và là một trong những trung tâm văn hóa, giáo dục quan trọng nhất của nước này. Hiện nay, thành phố Hồ Chí Minh là thành phố trực thuộc Trung ương cùng với thủ đô Hà Nội là đô thị loại đặc biệt của Việt Nam.

Tuy vậy, Thành phố Hồ Chí Minh đang phải đối diện với những vấn đề của một đô thị lớn có dân số tăng quá nhanh. Trong nội ô thành phố, đường sá trở nên quá tải, thường xuyên ùn tắc, hệ thống giao thông công cộng bằng xe buýt, taxi tỏ ra kém hiệu quả trong bối cảnh hiện nay [1]. Mặt khác, sự tăng lên theo cấp số nhân của lượng phương tiện giao thông chạy bằng xăng dầu ảnh hưởng nhiều đến môi trường do khí thải CO₂, CO, và bụi bặm.

Một giải pháp hoàn mỹ đến từ vương quốc Anh chính là **tàu điện ngầm**ⁱ, là dạng phương tiện công cộng cho phép vận chuyển số lượng lớn hành khách, thường được xây dựng dưới lòng đất (phân biệt với *tàu điện*). Tàu điện ngầm là hệ thống giao thông chở khách với tốc độ cao trên đường ray, nhiều lượt, nhiều chuyến trong ngày, lượng khách lớn, thuận tiện và thoải mái. Đa số các thành phố lớn trên thế giới đều có tàu điện ngầm. Thông thường các chuyến đi và về đều mang tính nhất định. Giống như xe bus nhưng tàu điện ngầm lại hữu ích trong việc đi lại hơn và đảm bảo được chất lượng an toàn trong cuộc sống nhiều hơn.

Dễ thấy rằng, muốn trị “căn bệnh” ùn tắc giao thông đô thị, phải dùng “thuốc liều cao” là lấy phương tiện giao thông công cộng thay thế dần phương tiện giao thông cá nhân.[3]

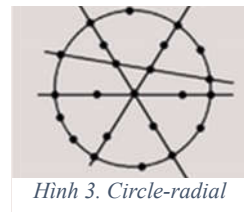
Chúng tôi đã sử dụng mô hình đồ thị cho bài toán này. Bằng việc đưa ra các ràng buộc và chiến thuật một cách tỉ mỉ dựa trên các yếu tố về mật độ dân số, địa điểm học tập, du lịch, tham quan, v.v., chúng tôi đã đề xuất các trạm dừng tiêu biểu trên 6 tuyến đường của hệ thống tàu điện. Mặt khác, tham khảo từ các công trình ở Singapore, Beijing, Moscow, và đặc biệt là London – quê hương của tàu điện ngầm, chúng tôi đã thống nhất về hình dạng của mạng lưới tàu điện, chính là hợp giữa đường bao quanh thành phố và các đường xuyên tâm (circle-radial) như được minh họa ở hình 1. [4]



Hình 1. Tàu điện ngầm



Hình 2. Tàu điện



Hình 3. Circle-radial

ⁱ Tên tiếng anh: underground, metropolitan (abbrev: metro), rapid transit, subway, heavy rail.

2. Giả thiết

- (1) Vận tốc của mỗi tàu trong mỗi tuyến là như nhau.
- (2) Khoảng thời gian xuất hiện giữa hai tàu cùng tuyến liên tiếp tại mỗi trạm là không đổi. Điều này đảm bảo tính ổn định của quá trình vận hành tàu điện ngầm.
- (3) Hệ thống tàu điện ngầm được xây dựng một cách độc lập với địa hình và giao thông của TP. HCM.
- (4) Đường tàu điện ngầm có thể đi qua một phần nhỏ lãnh thổ của huyện hoặc tỉnh khác và có thể xem xét ưu tiên cho những vị trí quan trọng gần địa bàn quận.
- (5) Trên một tuyến, mỗi khi tàu chuyển hướng, góc tạo bởi hai vector vận tốc trước và sau khi chuyển không được vượt quá 90 độ.
- (6) Mỗi tuyến đều không có nhánh phụ.

3. Điều kiện ràng buộc

Theo số liệu thống kê năm 2010, dân số của mỗi quận, những quận có mật độ dân số cao nhất (Quận 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11, Phú Nhuận) tập trung thành một cụmⁱ

Quận/Huyện	Diện tích (km ²)	Dân số (người)
Bình Chánh	253	447.291
Bình Tân	52	595.335
Bình Thạnh	21	470.054
Cần Giờ	704	70.697
Củ Chi	435	355.822
Gò Vấp	20	548.145
Hóc Môn	109	358.64
Nhà Bè	100	103.793
Phú Nhuận	5	175.175
Quận 1	8	187.435
Quận 10	6	232.45

Quận 11	5	232.536
Quận 12	53	427.083
Quận 2	50	140.621
Quận 3	5	188.945
Quận 4	4	183.261
Quận 5	4	174.154
Quận 6	7	253.474
Quận 7	36	274.828
Quận 8	19	418.961
Quận 9	114	263.486
Tân Bình	22	430.436
Tân Phú	16	407.924
Thủ Đức	48	455.899

Để tối ưu hóa hệ thống tàu điện ngầm, ta nên có những điều kiện được sắp xếp theo mức độ quan trọng giảm dần như sau:

- (1) Có tổng cộng không quá 6 tuyến đường.
- (2) Mỗi quận đều có ít nhất một tuyến đi qua.
- (3) Tên của 2 trạm bất kì là khác nhau.

ⁱ Trong phạm vi tài liệu này, thuật ngữ “trung tâm thành phố” chỉ vùng đất hợp bởi Quận 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11, Phú Nhuận.

(4) Ưu tiên những nơi có nguồn nhu cầu di chuyển cao: sân bay, ga Sài Gòn, bến xe khách các địa điểm du lịch như công viên giải trí Đầm Sen, Suối Tiên, những điểm nổi tiếng trong trung tâm thành phố.

(5) Ưu tiên những đối tượng hay sử dụng xe buýt, đặc biệt là sinh viên. Việc này giúp cân bằng lưu lượng khách giữa các phương tiện giao thông công cộng. Có thể nhận thấy các trường đại học ở thành phố không tập trung, mà chỉ với 6 tuyến đường sắt, nên đối tượng này được xếp sau các vị trí nhắc đến trong (4).

(6) Không có trạm nào có hơn 2 tuyến đi qua. Điều này là phù hợp với (1) và (2), nhằm tránh hiện tượng chen lấn vào giờ cao điểm.

(7) Để tiện lợi hóa việc di chuyển của hành khách, số lần chuyển tuyến của mỗi người không quá một lần. Mặt khác, số lần chuyển tuyến càng ít, lượng thời gian chết phải bỏ ra phải thấp.

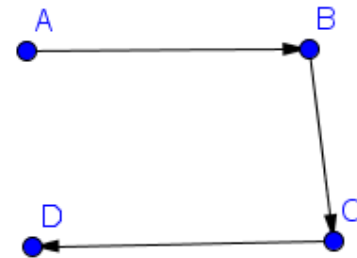
(8) Tên của mỗi trạm ưu tiên đặt theo một địa điểm nổi tiếng gần đó (chẳng hạn như Bến Thành, Đức Bà,...) để tránh gây nhầm lẫn.

(9) Tên của mỗi trạm ưu tiên đặt theo tên đường ở trên trạm đó.

(10) Mật độ phân bố trạm tàu tại các vùng tỉ lệ thuận với lượng cư dân di chuyển qua các vùng đó.

(11) Để tối ưu hóa thời gian, cần đảm bảo luôn tồn tại đường đi giữa hai trạm mà trên đó, vector vận tốc của hai thời điểm bất kỳ không được đối nhau. (Hình 4)

(12) Xây dựng hệ thống sao cho càng nhiều người được sử dụng tàu điện ngầm càng tốt.



Hình 3

Trong đó, điều kiện (1) và (2) là bắt buộc.

4. Tiếp cận

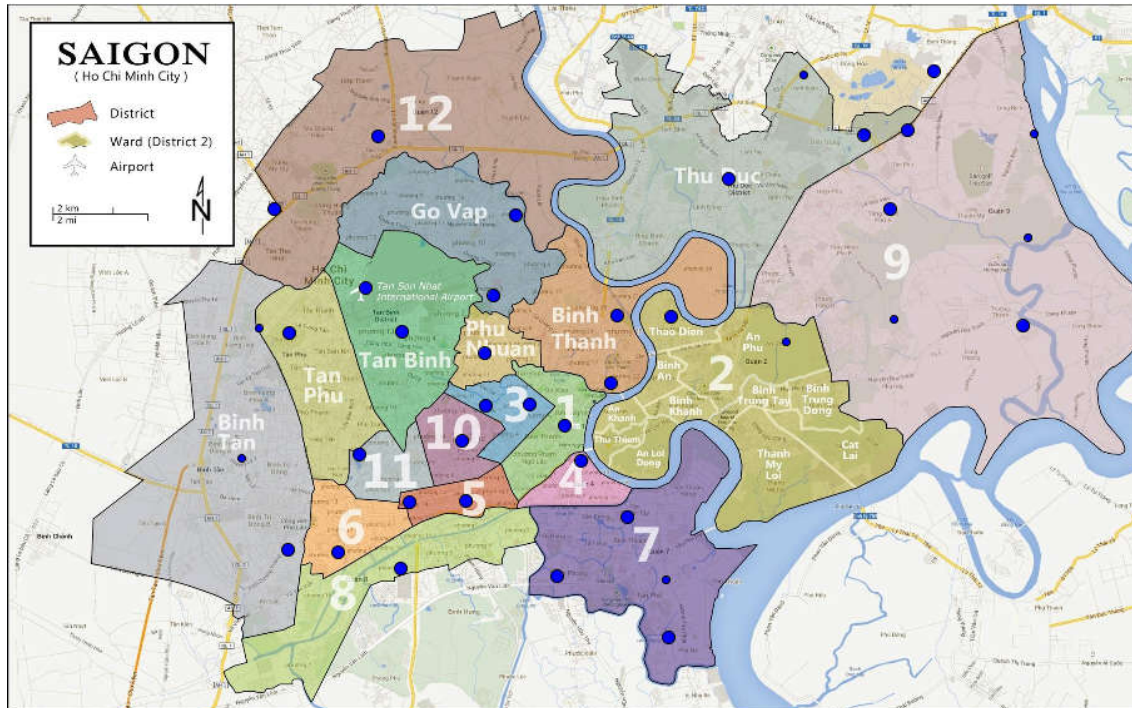
a. Mô hình cơ bản

Vì mỗi quận có sự phân bố dân cư không đồng đều nên để tối ưu hóa hệ thống mà vẫn thỏa mãn điều kiện (2) thì ở mỗi quận phải chọn ra ít nhất một địa điểm nổi tiếng hoặc có nhu cầu di chuyển cao. Trong điều kiện thời gian thực hiện dự án, chúng tôi chưa thu thập được các số liệu cụ thể nên đã lựa chọn các điểm trọng yếu sau:

- Quận 1: Chợ Bến Thành
- Quận 2: Thảo Điền
- Quận 3: Ga Sài Gòn, nơi tập trung các trường đại học
- Quận 4: Bến Nhà Rồng
- Quận 5: Bến xe Chợ Lớn, nơi tập trung các trường đại học
- Quận 6: nơi tập trung các trường đại học
- Quận 7: Đại học RMIT, nơi tập trung các trường đại học
- Quận 8: Bến xe Quận 8

- Quận 9: Khu vui chơi BCR, Suối Tiên, nơi tập trung các trường đại học
- Quận 10: nơi tập trung các trường đại học
- Quận 11: Đầm Sen
- Quận 12: Bến xe An Sương, nơi tập trung các trường đại học
- Quận Gò Vấp: công viên Gia Định, nơi tập trung các trường đại học
- Quận Tân Bình: sân bay Tân Sơn Nhất, nơi tập trung các trường đại học
- Quận Tân Phú: AEON Mall
- Quận Bình Tân: Bến xe Miền Tây, AEON Mall
- Quận Bình Thạnh: Bến xe Miền Đông, Phú Mỹ Hưng, nơi tập trung các trường đại học
- Quận Phú Nhuận: nơi tập trung các trường đại học
- Quận Thủ Đức: nơi tập trung các trường đại học

Một số điểm phụ (có kích thước nhỏ hơn so với đa số các điểm) được thêm vào bản đồ giúp việc xây dựng tuyến đường được thuận lợi và đảm bảo độ phủ của đường ray đến một số khu vực nội thành. Nếu những tuyến đường đi qua mọi điểm này thì chắc chắn mỗi quận đều có ít nhất 1 tuyến đi qua.



Hình 4

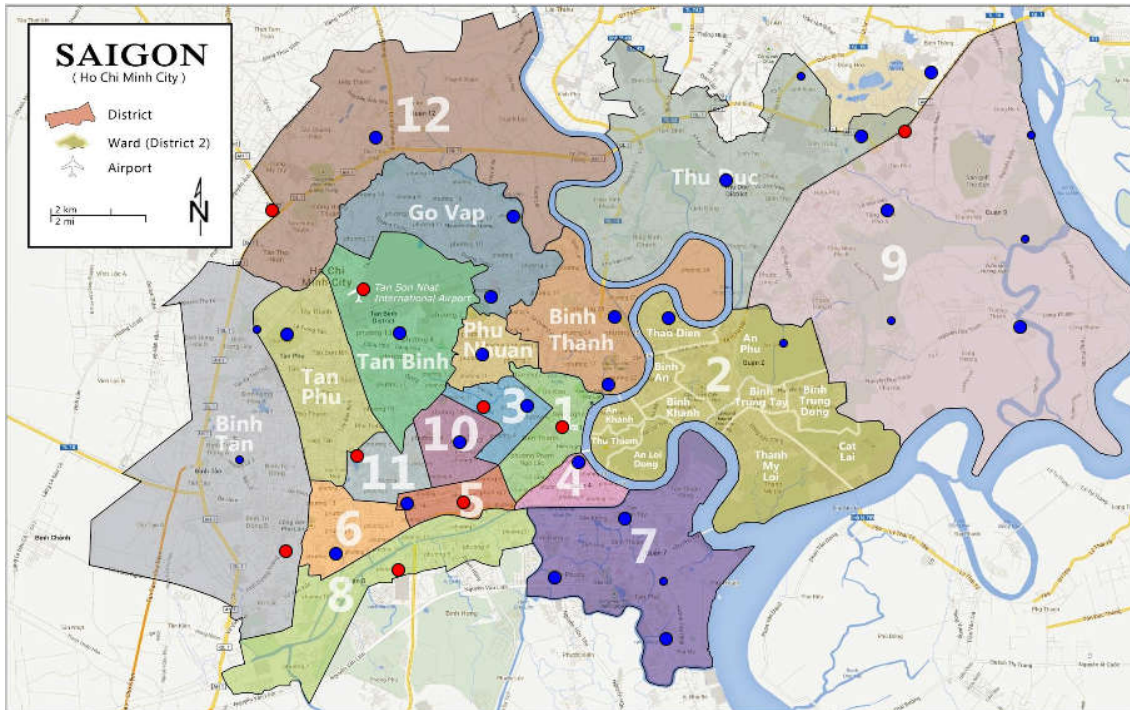
b. Thực hiện các điều kiện ràng buộc

Việc tuân thủ các điều kiện là vô cùng quan trọng để nâng cao tính hiệu quả cho hệ thống giao thông.

Điều kiện (7) dẫn đến hệ quả rằng hai tuyến bất kỳ phải cắt nhau.

Các địa điểm nhắc đến trong điều kiện (4) và (5) **nên** có hai tuyến đi qua.

Quan sát hình 6, chú ý các điểm đỏ sẽ được ưu tiên có hai tuyến đi qua.



Hình 5. Bản đồ các quận TP. HCM và các điểm trọng yếu

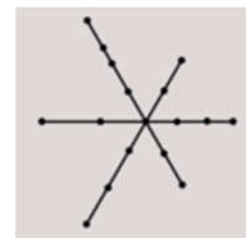
Chúng tôi quy về bài toán sau:

Trên một hệ trục tọa độ, cho trước tập n điểm $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, trong đó có k điểm màu đỏ và $n-k$ điểm màu xanh. Tìm j đường gấp khúc $\{a_1, a_2, \dots, a_j\}$ không tự cắt nhưng có thể khép kín ($j \leq 6$), sao cho:

- Điểm đỏ phải là giao điểm của đúng hai đường gấp khúc phân biệt.
- Có không quá hai đường gấp khúc đi qua điểm xanh.
- Các đường gấp khúc cắt nhau đôi một.

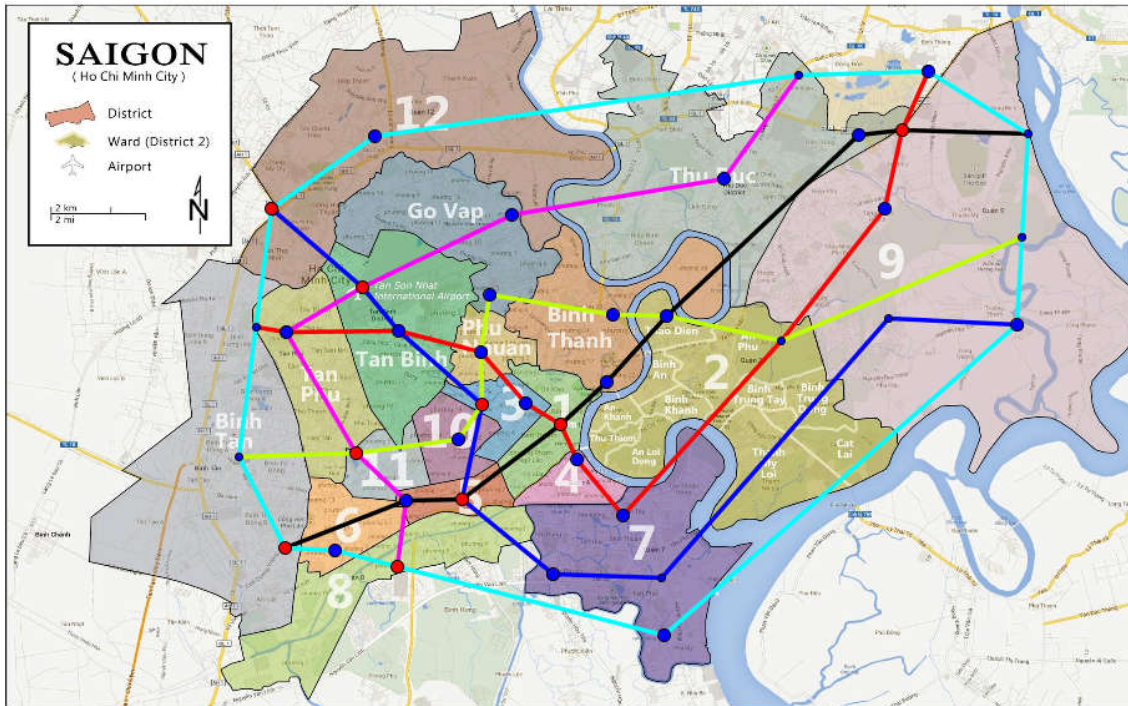
Trong quá trình nghiên cứu, chúng tôi nhận ra rằng bài toán này không thể tìm được tất cả những kết quả để chọn ra kết quả tối ưu do có quá nhiều biến, do đó chúng tôi đã dựa trên một số tính chất đặc biệt về sự tương đối giữa các điểm cũng như cách tô màu và rút ra các nhận xét:

- Các điểm trọng yếu không nằm tập trung mà phân bố **rải rác** trên các quận. Thậm chí có những điểm nằm ở biên của vùng đất đang xét.
- Nếu các tuyến xe tập trung hoặc giao nhau quá nhiều tại khu đông người sẽ **gây ùn tắc** và các hành vi phạm pháp khác.



Hình 6

- Với một giải pháp có **nhều** tuyến đường, ta có thể xây dựng nhiều trạm, có nhiều tàu điện, phân bố dịch vụ chất lượng cao rộng rãi hơn. Mặt khác, đặt vấn đề với bối cảnh kinh tế Việt Nam, giải pháp **ít** tuyến sẽ được cân nhắc. Tuy nhiên dễ thấy rằng hậu quả là quá tải, kém hiệu quả, không đáp ứng được nhu cầu người dân, thậm chí có thể phải ngừng hoạt động và lãng phí.



Hình 7

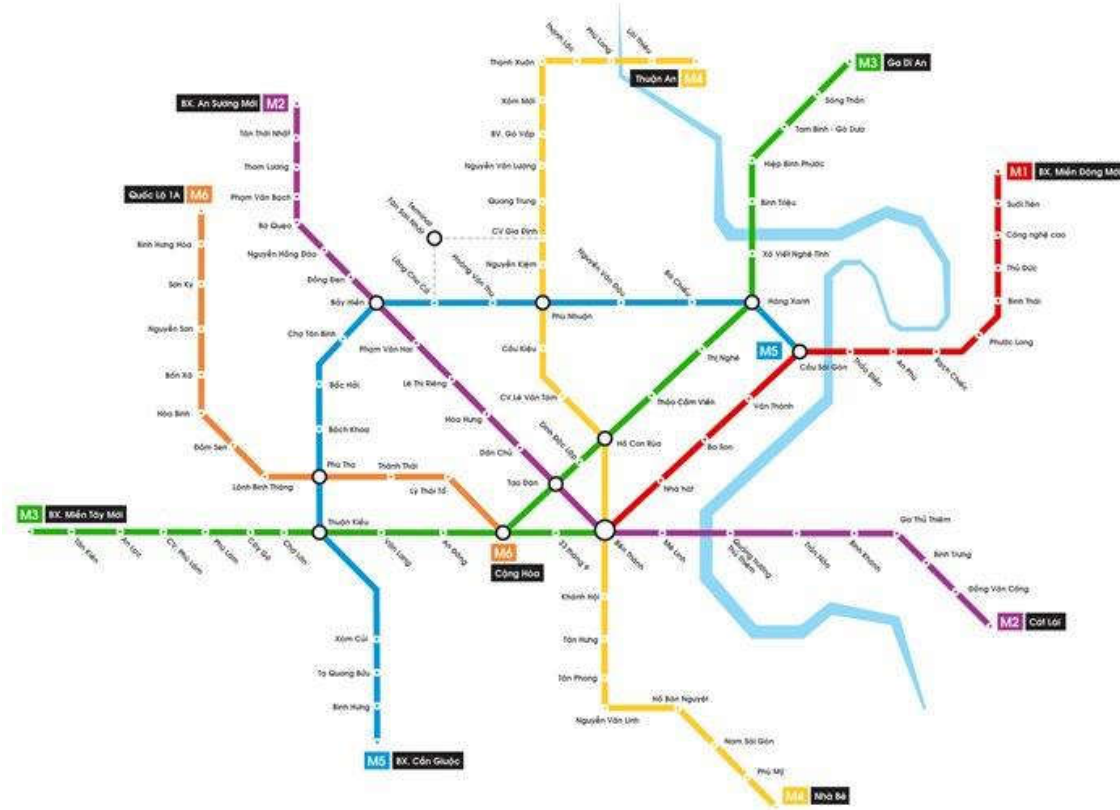
Trên mọi khía cạnh, việc cân bằng giữa các yếu tố là vô cùng cần thiết. Như vậy, sẽ có lợi hơn nếu chúng ta xây dựng một đường bao lồi duy nhất của tập điểm, kết hợp với các tuyến đường tắt nối một vài cặp đỉnh đối nhau thuộc đa giác này đồng thời đi qua các điểm bên trong đa giác. Cách làm này đem lại nhiều tiềm năng để cải thiện, chẳng hạn như kéo dài các tuyến vượt ra khỏi đa giác hoặc tập trung hóa các điểm trọng yếu của mỗi quận về một vị trí.

Ưu điểm đáng kể của phương án này nằm ở các nguyên tắc mà nó thực hiện. Tuy nhiên mặt trái của nó là tính thẩm mỹ không cao.

5. Các phương án đề xuất

Với mỗi điều kiện ưu tiên khác nhau, ta sẽ xây dựng được mô hình tối ưu hoàn toàn khác biệt. Vì vậy, xét đến khía cạnh thực tế, mỗi mô hình tối ưu trên đều sẽ có ưu nhược điểm của riêng nó. Điển hình như:

a. Mô hình dự án thật của thành phố Hồ Chí Minh

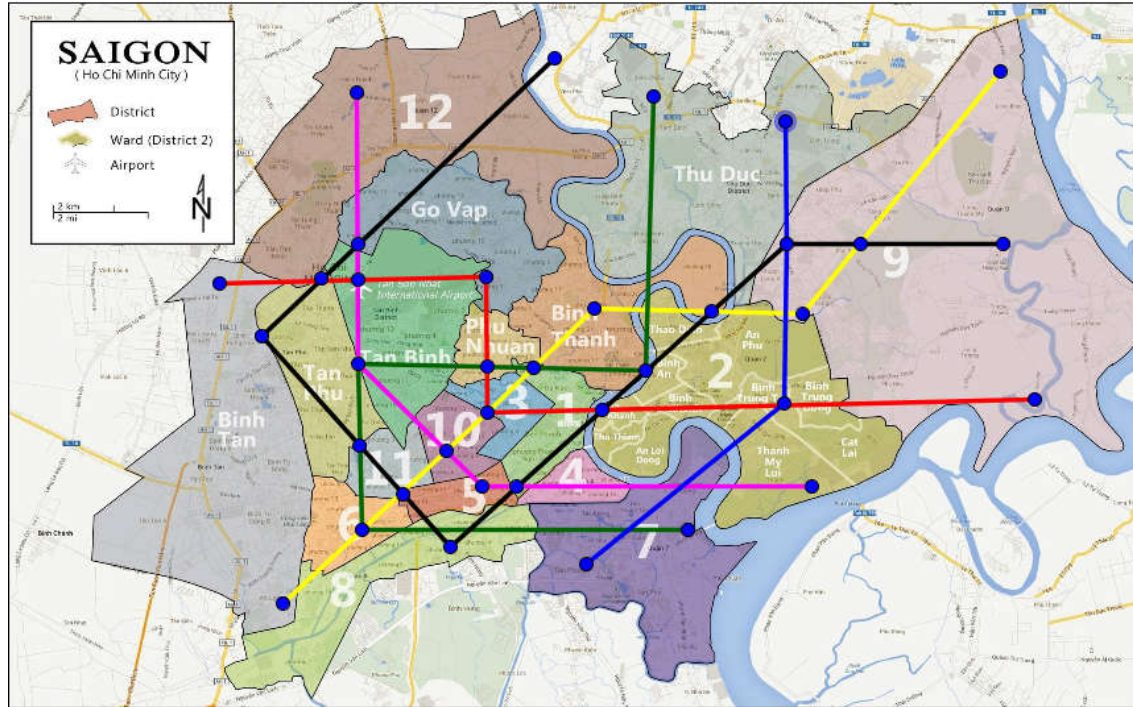


Hình 8. Sơ đồ các tuyến tàu điện ngầm TP. HCM đang hướng đến

- Ưu điểm:
 - Tổng đường đi của tàu điện ngầm ngắn nên sẽ thuận lợi khi đối tượng ưu tiên là chi phí xây dựng.
 - Đường đi trải rộng trên phần lớn địa bàn thành phố.
 - Tập trung nhiều tuyến ở trung tâm thành phố, thuận lợi cho việc đi lại tại những nơi đông người qua lại ở đó.
- Nhược điểm:
 - Nếu ta xét yêu cầu về ưu tiên cho sự thuận tiện của hành khách, hệ thống trên có 1 số nhược điểm, ví dụ như: 1 hành khách muốn đi từ trạm Gò Thủ Thiêm (tím) đến Suối Tiên (đỏ) thì sẽ gặp bất lợi về quãng đường.
 - Trạm Chợ Bến Thành sẽ là trạm có tiềm năng rất đông đúc người qua lại nên thích hợp để xây nhiều trạm. Tuy nhiên, chỉ có một trạm và 4 tuyến đi qua đó, rất có thể gây quá tải khi có nhiều người có nhu cầu đi đến trạm này.
 - Tuyến tàu đỏ cam và đỏ gần như độc lập so với những tuyến còn lại nên những hành khách đi 2 tuyến này rất có thể phải chuyển trạm ít nhất 2 lần, khá bất tiện.
- Nhận xét:

Mô hình trên thích hợp cho cách xây dựng đơn giản, tiết kiệm và có thể đạt hiệu quả cao nếu kết hợp chung với xe buýt để khắc phục nhược điểm.

b. Mô hình ưu tiên sự thuận tiện của hành khách và đảm bảo nhu cầu ở khu vực trung tâm:



Hình 9

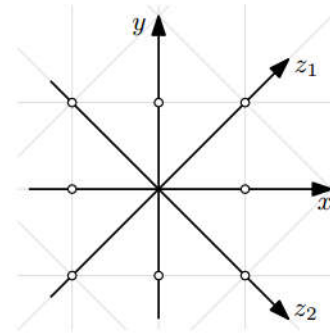
- Ưu điểm:
 - Đảm bảo hành khách chỉ đổi tuyến không quá một lần khi đi từ một trạm bất kỳ sang một trạm khác.
 - Thuận tiện cho việc đi lại qua khu vực trung tâm.
 - Không có trạm nào có hơn 2 tuyến đi qua nên sẽ không lo ngại về quá tải.
- Nhược điểm:
 - Không đảm bảo cho nhu cầu di chuyển đến những địa điểm quan trọng ngoài vùng trung tâm (Suối Tiên, bến xe miền Tây, ...).
 - Một số khu vực khó tiếp cận đường tàu điện (Quận Bình Tân, Quận 9)
- Nhận xét:

Mô hình tối ưu dạng tương tự trên phù hợp cho thành phố mà người dân tập trung chủ yếu ở một chỗ và có nhu cầu đi tàu điện ngầm cao như TP. HCM.

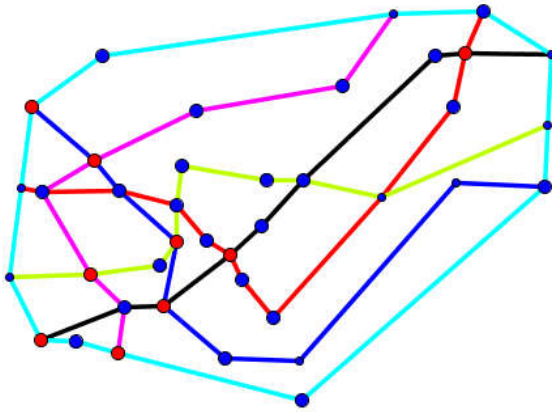
6. Cải thiện bản đồ

Quan sát và so sánh hình 7, 8, 9, nhiều người có thiện cảm với hai hình 8 và 9 hơn do cách vẽ các tuyến được chỉnh phương theo hệ trục 8 hướng Đông, Tây, Nam, Bắc, Đông Bắc, Đông Nam, Tây Nam, Tây Bắc.ⁱ

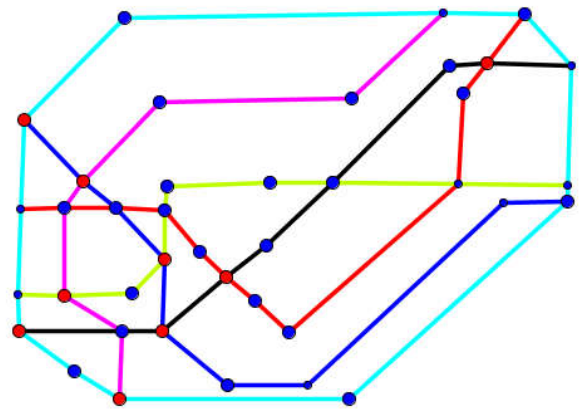
Đã có nhiều công trình nghiên cứu với mục đích tạo điều kiện cho hành khách không có kinh nghiệm về kiến trúc và kỹ thuật vẫn có thể tiếp nhận các thông tin từ sơ đồ tuyến tàu điện ngầm. Ở đây chúng tôi kế thừa thành quả của phương pháp MIPⁱⁱ đã được phân tích rõ trong [5].



Hình 11



Hình 12. Trước khi điều chỉnh



Hình 13. Sau khi điều chỉnh

ⁱ Octilinear

ⁱⁱ Mixed-Integer Programming

Kết luận

Thiết kế tàu điện ngầm sao cho hiệu quả đã là vấn đề của các kỹ sư trong suốt thế kỷ qua để xây dựng nên hệ thống giao thông của London, Chicago, Boston, Berlin, ... Trên đây, chúng tôi đã đưa ra các giả thuyết, ràng buộc, giải pháp cùng với đánh giá ưu nhược điểm. Hơn nữa, chúng tôi đã đề nghị một bản thiết kế của hệ thống tàu điện ngầm tại TP. HCM đồng thời so sánh với các phương pháp khả thi. Nhằm đơn giản hóa sơ đồ các tuyến đường cho du khách tham khảo, chúng tôi đã ép các tuyến đường theo 4 phương: dọc, ngang, chéo chính, chéo phụ.

Có thể thấy rõ, bằng việc vận dụng toán mô hình và các phương pháp lập luận hợp lý, ta có thể giải quyết được những vấn đề vĩ mô và tiềm năng là vô hạn. Nhiệm vụ của chúng ta là học hỏi thêm về toán ứng dụng và truyền đạt cho các thế hệ sau này.

Tham khảo

- [1] Wikipedia: Dự án đường sắt đô thị TP. HCM
- [2] Wikipedia: Thành phố Hồ Chí Minh
- [3] TS. Phạm Xuân Mai – giảng viên Đại học Bách khoa TP. HCM
- [4] Wikipedia: Rapid Transit
- [5] Drawing and Labeling High-Quality Metro Maps by Mixed Integer Programming
- [6] Google Hình ảnh
- [7] GeoGebra