**Hợp lý hóa vị trí của phương tiện trên bản đồ cho các hệ thống dẫn đường sử dụng dữ liệu GPS**

**(A Map-matching method for efficient navigating systems using GPS data)**

Nội dung

[I. Giới thiệu đề tài: 1](#_Toc437789410)

[II. Mục tiêu nghiên cứu: 3](#_Toc437789411)

[III. Bài toán map matching 4](#_Toc437789412)

[1. Định nghĩa bài toán 5](#_Toc437789413)

[2. Các trường hợp cần phải giải quyết 6](#_Toc437789414)

[3. Áp dụng mô hình Markov ẩn (HMM) vào bài toán map-matching 8](#_Toc437789415)

[4. Cách đánh giá 10](#_Toc437789416)

[IV. Kế hoạch triển khai: 12](#_Toc437789417)

[V. Kết luận: 12](#_Toc437789418)

[VI. Tài liệu tham khảo: 13](#_Toc437789419)

1. Giới thiệu đề tài:

ITS (Intelligent Transportation System) là hệ thống giao thông thông minh cải thiện an toàn, linh động, nâng cao hiệu suất giao thông và nâng cao hiệu quả hoạt động xã hội của giao thông vận tải bằng cách sử dụng công nghệ thông tin hiện đại.

Nhiều bài toán đặt ra cho ITS như cảm biến lưu lượng giao thông [1], phát hiện sự cố giao thông [2], dự đoán thời gian đi lại [3], quản lý đội xe (buýt, taxi) [4], đề xuất lộ trình [5] [6], … . Đối với người sử dụng di động trong nội thành, việc biết mình đang ở vị trí nào, tuyến đường mình đã, đang và sẽ đi ra sao thật sự rất cần thiết. Để có được những tiện ích này, chúng ta phải có những hệ thống xử lý dữ liệu thời gian thực (real-time) như thu thập dữ liệu thống kê lưu lượng giao thông, các dịch vụ dựa vào vị trí (location-based services) và các ứng dụng phân tích dữ liệu như lưu vết đường đi và phân tích hành vi, … . Những hệ thống này đều có liên hệ mật thiết và phụ thuộc vào kết quả của việc trích xuất dữ liệu và ánh xạ chúng vào bản đồ số (map matching).

Ánh xạ vị trí của phương tiện lên một bản đồ số cho trước, ví dụ bản đồ số về Tp. HCM (từ đây trở về sau trong đề cương sẽ sử dụng tên tiếng Anh là map matching thay vì gọi là “ánh xạ vị trí của phương tiện”), là bài toán chiếu vị trí của phương tiện (ví dụ có được từ dữ liệu GPS) đến các đoạn đường tương ứng trên bản đồ số. Đề tài này lấy dữ liệu đầu vào cho các hệ thống là dữ liệu GPS gồm một cặp tọa độ (kinh độ, vĩ độ), các thông tin khác như thời gian, tốc độ, độ cao, hướng di chuyển, … . Tuy nhiên, dữ liệu GPS có sai số, đặc biệt trong thành phố, sai số càng cao vì ảnh hưởng của các tòa nhà cao tầng, cũng như mức độ dày đặt của phương tiện, mạng lưới đường bộ [7]. Trong các ứng dụng thời gian thực như cảm biến lưu lượng giao thông, hệ thống dẫn đường, làm cách nào để giải quyết bài toán map matching một cách nhanh nhất trong khi chúng ta không có trong tay dữ liệu trong tương lai đang là một thách thức đối với các nhà nghiên cứu bài toán giao thông thông minh.

Các nghiên cứu trước đây về map matching, từ điểm đến điểm (point-by-point), đoạn đường gần nhất, đều có tỉ lệ lỗi cao. Các nhà nghiên cứu đã phát triển thành phương pháp ánh xạ nhiều điểm trong một lần thực hiện ánh xạ. Trong số đó là khởi tạo một đường cong từ các điểm GPS (thể hiện đường đi của phương tiện trong thời gian ngắn) và xem xét khả năng phù hợp về mặt hình học với các con đường gần đó. Ứng cử như nghiên cứu của White et al. [8] giới thiệu bốn thuật toán, đầu tiên là mô hình đơn giản “nắn” dữ liệu vào đoạn đường gần nhất. Nghiên cứu tiếp theo là bổ sung thông tin về hướng, so sánh góc tạo thành bởi hướng di chuyển và đoạn đường nghi vấn. Thuật toán thứ ba cải tiến thuật toán thứ hai về điều kiện liên kết, thuật toán thứ tư liên quan đến nắn đường cong. Họ bất ngờ khi phát hiện ra rằng thuật toán phức tạp nhất, thuật toán thứ tư, vượt trội hơn với thuật toán thứ hai khi kiểm tra trên dữ liệu lái xe tổng cộng 17 km. Một cách tiếp cận hình học khác xuất phát từ Greenfeld [9], với thuật toán xây dựng một tuyến đường hợp lý có thứ tự. Thuật toán này áp dụng cách giải theo thể loại trọng số, ở đây họ dùng khoảng cách và hướng di chuyển. Thuật toán này chứng tỏ sự hiệu quả, mặc dù dữ liệu GPS được thu thập trong khi bật tính năng Selective Availability, sinh ra rất nhiều vị trí nhiễu. Kim và Kim [12] tìm cách tính toán có bao nhiêu điểm GPS thuộc bất kỳ một đoạn đường cho trước, xem xét khoản cách đến đó, hình dáng của đoạn đường, và tính liên tục của tuyến đường. Cách tính này được dùng trong mô hình tính toán nắn mờ với các tham số được học đến mức tối ưu. Một trong các phương pháp hình học phức tạp nhất là phương pháp được đề xuất bởi Brakatsoulas et al. [11]. Thuật toán này dùng các biến số khoảng cách Fréchet để khớp đường cong của chuỗi GPS với các tuyến đường nghi vấn. Họ đã kiểm chứng thuật toán trong 45 tuyến đường ở Athens, Hy Lạp. Alt et al. [10] đề ra phương pháp tổng quát cho nắn đường cong Frechet.

Một vấn đề tìm ẩn của phương pháp hình học đó là cảm nhận của người làm đối với điểm nhiễu và tỉ lệ lấy mẫu [17]. Rõ ràng, việc kết nối các điểm trong tập các điểm nhiễu có tỉ lệ lấy mẫu thưa sẽ không hiệu quả, đặc biệt là thông tin về hướng đi. Mô hình Markov ẩn (HMM) giải quyết vấn đề này bằng một mô hình các tuyến đường liên thông cụ thể và cân nhắc các tuyến đường khác nhau đồng thời. Một trong những ứng dụng của HMM trong việc nắn đó là ứng dụng của Lamb và Thiebaux [15], họ kết hợp Kalman và HMM. Khá nhiều bộ lọc Kalman theo dõi phương tiện theo nhiều tuyến đường khác nhau, và HMM chọn lựa trong số đó. Hummel [13] và Krumm et al. [14] sử dụng HMM để cân bằng nhiễu và khả năng tuyến đường.

1. Mục tiêu nghiên cứu:

Trong các hệ thống dẫn đường (navigation system), việc xác định đúng vị trí của phương tiện trên bản đồ số càng nhanh thì mức độ ứng dụng của nó càng cao. Nhưng đi đôi với tốc độ, chúng ta phải trả giá cho độ chính xác. Việc đảm bảo độ chính xác cao cũng như tốc độ trả kết quả của hệ thống dẫn đường chính là mục tiêu của luận văn này.

Bài toán map matching khá phức tạp vì dữ liệu để tính toán phụ phuộc rất nhiều vào dữ liệu GPS từ thiết bị với đăc tính tự nhiên là có kèm theo sai số và nhiễu. Đặc biệt trong thành phố, nơi có nhiều nhà cao tầng, thiết bị thu phát sóng ngoại vi làm ảnh hưởng đến độ chính xác của tín hiệu GPS. Ngoài ra, dữ liệu bản đồ số cũng là một vấn đề cần giải quyết chẳng hạn như bản đồ cũng có thể bị vẽ sai hoặc không cập nhật kịp với những thay đổi về hạ tầng giao thông. Ví dụ, bản đồ số mà các nghiên cứu trước đây sử dụng là OSM (open street map), một dạng bản đồ số mã nguồn mở, cung cấp miễn phí dữ liệu về hệ thống đường bộ. Tuy nhiên, OSM không cung cấp đúng và đầy đủ hệ thống giao thông đường bộ. Ví dụ như sẽ có những con đường hiện tại là hai chiều, nhưng trong OSM là một chiều, hoặc ngược lại. Tương tự như vậy, sẽ có những con đường mới mở, những ngã tư, ngã ba mới, … mà trong OSM không có.

Với mục tiêu là cải tiến giải thuật map matching để nâng cao năng suất về hai mặt: độ chính xác và độ trễ tính toán, đề tài gặp rất nhiều thách thức. Một trong những thách thức đó là áp dụng giải thuật trên thiết bị di động, nơi mà không gian lưu trữ và khả năng tính toán bị hạn chế. Hiện nay các thiết bị di động đã trang bị các chip vi xử lý hiện đại, tuy nhiên không vì thế mà nó có thể giải được tất cả các bài toán với độ chính xác cao. Ngoài ra, ứng dụng dẫn đường thời gian thực đòi hỏi áp lực rất lớn về thời gian tính toán để đáp ứng được yêu cầu về thời gian thực hoặc gần với thời gian thực trong thực tế.

Có thể chia bài toán map matching làm hai dạng:

+ Nắn GPS vào đúng đoạn đường (segment) mà xe đã đi

+ Nắn GPS vào đúng vị trí trên bản đồ đúng lúc xe đang nhận tín hiệu GPS đó

Luận văn này giải quyết dạng bài toán thứ nhất. Với mục tiêu này, luận văn này đóng góp 3 phần. Thứ nhất, đề ra phương pháp cải tiến tốc độ và độ chính xác cho bài toán map matching. Thứ hai, mức độ cải tiến sẽ được so sánh với các thuật toán [1] [2]. Thứ ba, hiện thực phương pháp cải tiến giải thuật map matching bằng ứng dụng dẫn đường thời gian thực trên nền tảng mobile.

1. Bài toán map matching



Hình 1: Bài toán map matching là ánh xạ vị trí GPS (ký hiệu “X”) vào đúng đoạn đường mà xe đang đi (tô màu vàng, hướng từ trái sang phải), trong đó vòng tròn đánh số từ 1 đến 5 thể hiện vị trí GPS đã được ánh xạ lên đoạn đường tương ứng.

Bài toán map matching được minh họa ở hình 1. Có 5 vị trí GPS là 5 dấu “X” trong hình. Vấn đề là tìm ra đoạn đường mà xe đã đi. Rõ ràng thuật toán đơn giản nhất là match mỗi điểm lên đoạn đường gần nhất. Tuy nhiên, nhiễu làm cho kết quả có thể sai. Trong ví dụ minh họa, đường đi đúng được tô màu vàng nhưng nếu chiếu điểm thứ 5 lên đoạn đường gần nhất sẽ không đúng. Thậm chí nếu dùng thiết bị nhận tín hiệu GPS hiện đại, thì chúng ta vẫn sẽ nhận được tín hiệu nhiễu (outliers) và dẫn đến một chuỗi điểm không chính xác. Nguyên nhân là do ảnh hưởng bởi các tòa nhà cao tầng trong nội thành và một số nguyên nhân từ đặc tính của vị trí trên trái đất ảnh hưởng đến tín hiệu GPS. Chính vì điều này, map matching hiện đại sẽ xem xét chuỗi GPS trước khi quyết định chúng thuộc đoạn đường nào. Trong thực tế, thực sự chỉ có một tuyến đường hợp lý cho chuỗi GPS đã cho.

Hệ thống dẫn đường được tích hợp vào hệ thống ITS của trường ĐH Bách Khoa HCM. Đây là nơi chứa thông tin và xử lý dữ liệu về giao thông. Dữ liệu đầu vào bao gồm thông tin về vị trí của phương tiện từ GPS, xem ví dụ ở hình 2. Mỗi điểm như vậy là một cặp vĩ độ / kinh độ theo thời gian. Ngoài ra, GPS còn cung cấp thêm một số thông tin hữu ích khác như tốc độ, hướng di chuyển, mã số định danh (ID) của xe, … . Thông tin các đoạn đường được trích xuất từ OSM, một dạng thông tin địa lý mã nguồn mở được tải về từ trang chủ openstreetmap. Từ đây ta biểu diễn mạng lưới đường bộ dưới dạng đồ thị bao gồm các đỉnh (nodes) và các cạnh (edges). Các đỉnh có thể là các điểm giao nhau giữa các con đường, đường cụt, tên đường thay đổi. Các cạnh biểu diễn các đoạn đường giữa các đỉnh. Một số cạnh chỉ có một chiều. Mỗi đỉnh có thông tin vĩ độ/kinh độ để chỉ định vị trí của nó, và mỗi cạnh có một dãy các cặp kinh độ / vĩ độ để biểu diễn hình học.

1. Định nghĩa bài toán

Định nghĩa 1: Quỹ đạo, , là một tập bao gồm N điểm thu thập từ phương tiện. Mỗi điểm trên quỹ đạo, tn là một vị trí được xác định bởi kinh độ (tn.lon), vĩ độ (tn.lat), tốc độ (tn.v) và thời gian (tn.time).

Định nghĩa 2: Segment hay còn gọi là đoạn đường. Trong luận văn này quy ước ta gọi theo tên tiếng Anh là segment. Segment, , là một đoạn M điểm biểu diễn một đoạn đường. Segment là tập hợp một chuỗi các đoạn kết nối với nhau bởi các điểm p1, … pM theo thứ tự, mỗi điểm pm được xác định bởi vị trí kinh độ và vĩ độ. Một segment cũng được định nghĩa bởi độ rộng của con đường (r.w), giới hạn về tốc độ (r.v), và tính chất 1 chiều hay 2 chiều (r.d ).

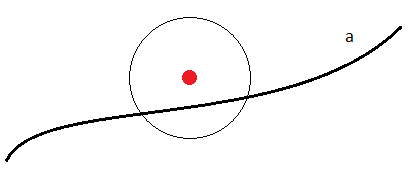
Định nghĩa 3: Bản đồ số, là một tập hợp K segment biểu diễn mạng lưới đường bộ.

Cho trước một quỹ đạo T, mục tiêu của map-matching là tìm ra tương ứng với mỗi điểm trên quỹ đạo T là một đoạn đường trong G.

1. Các trường hợp cần phải giải quyết

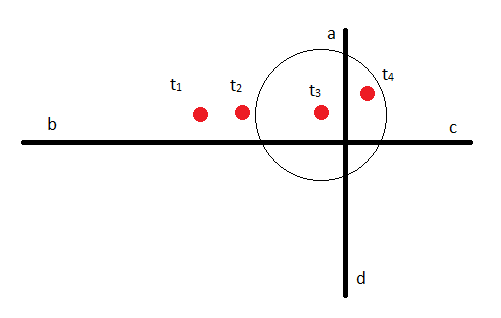
Ta quy ước chấm tròn đỏ là vị trí GPS lấy được từ thiết bị. Đường màu đen là segment. Đường tròn màu đen có tâm là chấm đỏ có bán kính 50m (lý do được nêu cụ thể ở phần tiếp theo)

Trường hợp 1: Hình 2 là trường hợp đơn giản nhất. Tại đây, ta chỉ xét cho một segment duy nhất là segment a. Trong phạm vi bán kính 50m, dễ dàng ta thấy được chỉ có segment a nằm gần với điểm GPS đang xét, hơn nữa giả định là xe đang di chuyển trên đường, do đó có thể khẳng định xe đang di chuyển trên segment a. Khẳng định này chỉ đúng khi giả thuyết rằng dữ liệu bản đồ là chính xác (không có segment nào khác ngoài segment a nằm trong phạm vi bán kính 50m).



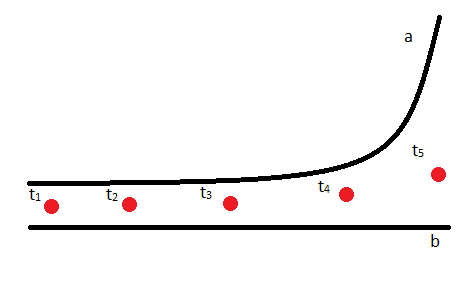
Hình 2: Trường hợp 1, chấm tròn thể hiện vị trí GPS lấy từ thiết bị, đoạn đường a nằm trong phạm vi bán kính 50m tính từ điểm GPS này.

Trường hợp 2: Ta xét tiếp trường hợp phức tạp hơn tại hình 3. Ta có một quỹ đạo GPS ti (). Từ t1 đến t2, ta dễ dàng xác định segment mà chúng thuộc về (suy luận từ trường hợp 1). Tại t3,ta xét thấy có 4 segment ứng tuyển nằm trong phạm vi bán kính 50m, đó là segment a, b, c, d. Ta phải xác định t3 thuộc segment nào trong số các segment ứng tuyển. Tương tự như vậy, t4  cũng có 4 segment ứng tuyển. Theo logic thông thường, ta quan sát thấy rằng xe có thể đi từ segment b đến ngã tư, sau đó rẽ trái đến segment a. Hoặc cũng có khả năng, xe đi từ segment b đến ngã tư, rồi đi thẳng đến segment c.



Hình 3: Trường hợp 2, một tập điểm GPS được đánh số từ t1 đến t4. Vị trí ánh xạ tại ngã tư, nơi tiếp giáp giữa các segment a, b, c và d.

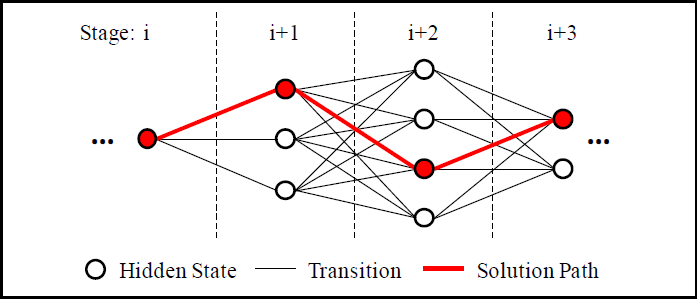
Trường hợp 3: Hình 4 mô tả trường hợp 2 segment song song với nhau, trong khi quỹ đạo thu được nằm giữa 2 segment này.



Hình 4: Trường hợp 3, tập điểm GPS từ t1 đến t5 nằm giữa hai đoạn đường a và b.

1. Áp dụng mô hình Markov ẩn (HMM) vào bài toán map-matching

Với các bài toán cần phải giải quyết được nêu ra ở những phần trước, công cụ HMM khá phù hợp [16]. HMM cho kết quả tối ưu là một chuỗi các trạng thái mà ở đó khả năng thành công là cao nhất (Hình 5). Áp dụng HMM vào map-matching, ta sẽ tìm được chuỗi các đoạn đường mà khả năng từng điểm trên quỹ đạo T thuộc về nó là cao nhất. Khi gặp một điểm mới trên quỹ đạo, những giả thiết trong quá khứ của mô hình sẽ được mở rộng để giải thích cho điểm quan sát mới này. Trong tất cả các khả năng chiếu các điểm trong T lên G, ta chọn ra một đường đi có khả năng cao nhất.

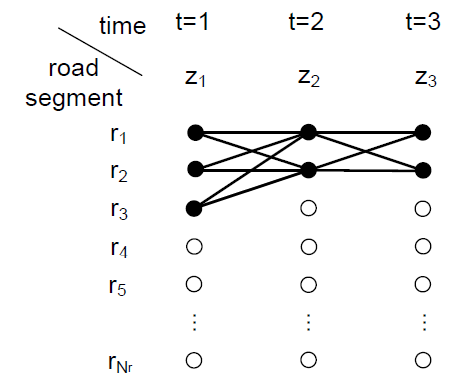


Hình 5: Mô hình Markov ẩn, với tập trạng thái i đến i+3

Với mỗi điểm trên quỹ đạo, trước tiên ta xác định một tập các segment ứng cử cùng với khả năng của nó. Mỗi ứng cử được biểu diễn như một trạng thái ẩn (hidden state) trong chuỗi Markov và có xác suất khả năng (emission probability), chính là khả năng quan sát được điểm GPS trên quỹ đạo thuộc về segment này. Bằng trực giác, segment nào nằm gần điểm GPS thì khả năng điểm GPS đó thuộc về nó có xác suất càng cao. Các segment ứng cử của mỗi vị trí GPS nằm trong phạm vi bán kính 50m có tâm là vị trí GPS đó nhằm [16]:

1. Loại bỏ các ứng cử có xác suất khả năng rất thấp
2. Tránh lãng phí thời gian thực thi các segment ứng cử thừa

Tiếp theo, ta tính xác suất chuyển trạng thái (transition probability) cho mỗi cặp trạng thái ẩn liên tiếp trong chuỗi Markov, như xác suất của trạng thái tiếp theo chỉ phụ thuộc vào trạng kế kế trước nó, tuân theo giả thiết Markov. Mục tiêu của ta là tìm ra chuỗi có khả năng cao nhất.



Hình 6: Mô hình Markov ẩn và thuật toán Viterbi

Hình 6 biểu diễn mô hình HMM áp dụng vào bài toán map-matching. Hàng dọc biểu diễn các segment tương ứng với các vị trí zt trong 3 thời điểm t=1, 2, 3. Trong đó, là segment thứ i biểu diễn một trạng thái rời rạc của mô hình HMM. Với cách biểu diễn này, các segment liên kết với nhau tại các điểm giao nhau (ngã ba, ngã tư …). Với mỗi vị trí GPS zt, mục tiêu là tìm ra phương tiện đang đi trên segment nào. Tại thời điểm t=1, có ba segment gần nhất với z1, trong hình biểu diễn bởi ba chấm đen ở cột thứ nhất. Tương tự như vậy, ta có hai tuyến đường gần nhất với z2, và hai cho z3. Có một tuyến đường hợp lý, xuất phát từ mỗi điểm gần nhất trên ba con đường ứng cử với z1, đi qua mỗi điểm gần nhất với z2, rồi kết thúc tại một trong hai điểm gần nhất với z3. Tổng cộng ta có trường hợp cần xem xét. Mục tiêu là xác định tuyến đường nào trong số 12 trường hợp có khả năng cao nhất. Tuyến đường này phải hợp lý cho cả khả năng đo lường và khả năng di chuyển giữa các segment.

Phương pháp HMM áp dụng vào bài toán map-matching được giới thiệu trên đây giải quyết dữ liệu theo khối (batch processing), sau khi thu thập được hết dữ liệu. Để áp dụng HMM vào bài toán map-matching theo thời gian thực, ta áp dụng cơ chế trượt cửa sổ (sliding window) và cải tiến thuật toán Viterbi [16].

1. Cách đánh giá

Ta đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất thông qua hai tiêu chí:

* Hiệu quả (effectiveness): ở đây độ chính xác của phương pháp ánh xạ được dùng để đánh giá độ hiệu quả của phương pháp
* Hiệu suất (efficiency): độ phức tạp tính toán và thời gian tính toán (độ trễ tính toán) được dùng để đánh giá hiệu suất của phương pháp

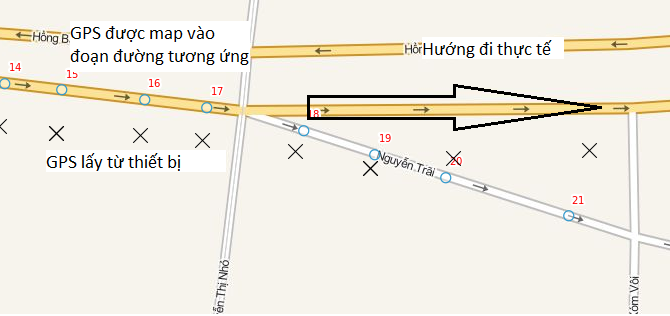
Độ chính xác được định nghĩa là tỉ lệ ánh xạ chính xác vị trí của xe lên bản đồ. Ánh xạ chính xác nghĩa là các điểm GPS trên quỹ đạo đều nằm trên các segment mà xe đã đi qua. Độ chính xác được biểu diễn dưới dạng toán học theo công thức dưới đây:

Với N là số điểm GPS sau khi thu thập. Trong số N điểm này, ta ánh xạ vào các segment tương ứng, được M điểm (M <= N).

Độ trễ tính toán chính là tốc độ đưa ra kết quả, thời gian tính toán càng nhỏ so với các phương pháp khác càng tốt nhằm đáp ứng nhu cầu thông tin nhanh, gần với thời gian thực. Gọi t1 là thời điểm đưa dữ liệu vào hệ thống xử lý, t2 là thời điểm nhận kết quả map matching, ta có thời gian xử lý là: tx = t2 – t1. Ở đây ta xét điều kiện mạng không ảnh hưởng đến tốc độ truyền dữ liệu.

Interval (thời gian cách nhau giữa các điểm GPS – thời gian lấy mẫu dữ liệu) được lấy trong khoảng 1 giây đến 5 phút. Việc xác định khoảng interval bao nhiêu là hợp lý trong ứng dụng thực tế rất quan trọng. Nếu khoảng interval càng ngắn, thì dữ liệu GPS càng nhiều, tuy nhiên thiết bị di động sẽ tốn nhiều năng lượng. Ngược lại, nếu khoảng interval dài, sẽ tiết kiệm được năng lượng nhưng dữ liệu GPS sẽ rất ít, tỷ lệ nhiễu sẽ rất cao dẫn đến độ chính xác của phương pháp rất thấp. Dựa trên bảng thống kê độ chính xác của phương pháp theo khoảng interval từ 1 đến 5 phút, ta sẽ biết được khoảng interval hợp lý nhất cho ứng dụng thực tế.

Dữ liệu đánh giá được thu thập từ thực tế. Hình 7 là một ví dụ hiển thị vị trí GPS thu thập từ thiết bị di động lên bản đồ OSM. Ký hiệu “X” thể hiện vị trí GPS thô thu thập từ thiết bị, ký hiệu “o” là vị trí GPS đã được ánh xạ lên đoạn đường hợp lý. Chiều mũi tên chỉ hướng đi thực tế của xe. Trong ví dụ này, hệ thống sử dụng HMM để ánh xạ vị trí GPS lên các đoạn đường tương ứng. Tuy nhiên, hệ thống đã xử lý sai đường đi thực tế của xe (thay vì đi thằng trên đường Hồng Bàng thì hệ thống cho kết quả xe rẽ vào đường Nguyễn Trãi). Từ thực tế này, ta phải tìm ra hướng cải tiến hệ thống dẫn đường, cụ thể là cải tiến độ hiệu quả của việc ánh xạ vị trí GPS lên đoạn đường tương ứng.



Hình 7: Ví dụ về dữ liệu GPS lấy từ thiết bị được mô phỏng trên nền web. Ký hiệu “X” là vị trí GPS lấy từ thiết bị, ký hiệu “O” là vị trí GPS sau khi được ánh xạ lên đoạn đường tương ứng, đường đi thực tế theo hướng mũi tên

1. Kế hoạch triển khai:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| STT | Công việc | Thời gian |
| 1 | Giải pháp cải tiến độ chính xác và độ trễ xử lý | 2 tháng (tháng 1/2016 đến 2/2016) |
| 2 | Hiện thực giải pháp | 1 tháng (tháng 3/2016) |
| 3 | Viết application trên Android: hệ thống dẫn đường thời gian thực | 2 tháng (tháng 4 đến 5/2016) |
| 4 | Viết luận văn | 1 tháng (tháng 6/2016) |

1. Kết luận:

Luận văn giới thiệu bài toán map matching với một vấn đề cụ thể phải giải quyết đó là “Hợp lý hóa vị trí của phương tiện trên bản đồ cho các hệ thống dẫn đường sử dụng dữ liệu GPS”. Luận văn cũng giới thiệu mô hình Makov ẩn (HMM), áp dụng mô hình xác suất để giải quyết bài toán map matching.

Công việc tiếp theo của luận văn là tìm ra giải pháp cải thiện được độ chính xác và độ trễ của hệ thống dẫn đường nhằm đáp ứng yêu cầu thông tin theo thời gian thực. Đồng thời hiện thực giải pháp bằng ứng dụng dẫn đường theo thời gian thực trên nền tảng mobile.

1. Tài liệu tham khảo:

[1] Lim Z., Zhu Y., Zhu H. & Li M., “Compressive sensing approach to urban traffic sensing,” *Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2011 31st International Conference, 889-898, 20-24 June 2011.

[2] Li M., Zhang Y. & Wang W., "Analysis of congestion points based on probe car data," *Intelligent Transportation Systems ITSC '09*, 12th International IEEE Conference, 1-5, 4-7 Oct. 2009

[3] De Fabritiis, C., Ragona, R. & Valenti, G., “Traffic estimation and prediction based on real ime floating card data,” *11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 197-203, 2008

[4] Liao Z., “Real-time taxi dispatching using global positioning system ,” *Communications* of the ACM, 46(5), 81-83, 2003

[5] Zheng Y. & Xie X., “Learning travel recommendations from user-generated GPS traces,” *ACM Transactions On Asian Language Information Processing*, 2(1), 2011.

[6] Yuan J., Zheng Y., Zhang C., Xie W., Xie X., Sun G. & Huang Y., “T-Drive: Driving direction based on taxi trajectories ,” *Science And Technology*, 99-108, 2010.

[7] Wang Y., Zhu Y., He Z., Yue Y. & Li Q., “Challenges and opportunities in exploiting large-Scale GPS probe data”, HP Laboratories, Technical Report HPL-2011-109, 21 Jul. 2011

[8] White, C.E., D. Bernstein, and A.L. Kornhauser, “Some map matching algorithms for personal navigation assitants”. Transportation Reserach Part C: Emerging Technologies, 2000. 8(1-6): p. 91-108

[9] Greenfeld, J.S., “Matching GPS Observations to Locations on a Digital Map”, in 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2002: Washington, DC, USA.

[10] Alt, Helmut, et al. "Matching planar maps." Proceedings of the fourteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.

[11] Brakatsoulas, S., et al., “On Map-Matching Vehicle Tracking Data”, in 31st International Conference on Very Large Databases (VLDB 2005). 2005: Trondheim, Norway 853- 864

[12] Kim, S. and J.-H. Kim, “Adaptive Fuzzy-Network-Based C-Measure Map-Matching Algorithm for Car Navigation System”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001. 48(2): 432-441.

[13] Hummel, B., “Map Matching for Vehicle Guidance”, in Dynamic and Mobile GIS: Investigating Space and Time, J. Drummond and R. Billen, Editors. 2006, CRC Press: Florida.

[14] Krumm, J., J. Letchner, and E. Horvitz, “Map Matching with Travel Time Constraints”, in Society of Automotive Engineers (SAE) 2007 World Congress. 2007: Detroit, Michigan, USA.

[15] Lamb, P. and S. Thiebaux, “Avoiding Explicit Map-Matching in Vehicle Location”, in 6th World Conference on Intelligent Transportation Systems (ITS-99). 1999: Toronto, Canada.

[16] Goh, C.Y., J. Dauwels, N. Mitrovic, M. T. Asif, A. Oran, and P. Jaillet. “Online Map-Matching Based on Hidden Markov Model for Real-Time Traffic Sensing Applications”. 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (n.d.).

[17] Newson, Paul, and John Krumm. "Hidden Markov map matching through noise and sparseness." Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems. ACM, 2009.