

MỘT SỐ ĐÁNH GIÁ TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT THIẾT LẬP ĐƯỜNG ĐI CHO XE TỰ HÀNH

Nhận bài:

20 – 01 – 2019

Chấp nhận đăng:

25 – 03 – 2019

<http://jshe.ued.udn.vn/>

Quách Hải Thọ^a, Phạm Anh Phương^{b*}

Tóm tắt: Khi nghiên cứu về lĩnh vực xe tự hành, mỗi nhà sản xuất, mỗi dự án đều có các đề xuất về cấu trúc điều khiển khác nhau nhưng vẫn tồn tại một kiến trúc chung cho hoạt động của xe tự hành. Dựa trên kiến trúc này mà các nhà phát triển đưa ra kế hoạch cho sản phẩm của mình. Tuy nhiên, với những khó khăn và thách thức về mặt kĩ thuật, công nghệ và pháp lí nên các nhà phát triển vẫn chưa có được giải pháp hiệu quả để xe tự hành có thể hoạt động trên đường công cộng. Do đó, với mục tiêu tăng cường khả năng lập kế hoạch xác định đường đi dựa trên các thông tin nhận được từ hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông và các phương tiện khác trên đường thông qua các thiết bị cảm biến và hệ thống thu nhận tín hiệu, các kĩ thuật xác định đường đi và điều khiển chuyển động khác nhau sẽ được thiết lập dựa trên các thông tin thu nhận được thông qua các thiết bị cảm biến và hệ thống thu nhận tín hiệu trên xe tự hành, tạo điều kiện cho xe tự hành có thể hoạt động trong môi trường hỗn hợp với các chiến lược nhằm cải thiện hiệu năng và tối ưu quá trình hoạt động của xe. Trong bài báo này, chúng tôi đánh giá các kĩ thuật thiết lập đường đi đã được nghiên cứu trong thời gian qua, từ đó đề xuất giải pháp và hướng nghiên cứu ứng dụng về bài toán xe tự hành.

Từ khóa: xe tự hành; kế hoạch chuyển động; hoạch định đường đi; hệ thống giao thông thông minh.

1. Giới thiệu

Về bài toán xe tự hành, các kĩ thuật thiết lập đường đi và điều khiển chuyển động khác nhau sẽ được xác lập dựa trên các thông tin thu nhận được thông qua các thiết bị cảm biến và hệ thống thu nhận tín hiệu được lắp đặt trên xe tự hành. Việc thiết lập đường đi thông minh cho xe tự hành là cần thiết trong quá trình vận hành, giảm thiểu một số tác vụ liên quan đến hoạt động của xe.

Với sự phát triển của hệ thống điều khiển hành trình (Cruise Control - CC), hệ thống điều khiển hành trình chủ động (Adaptive CC - ACC) và gần đây là hệ thống điều khiển hành trình chủ động tương tác (Cooperative ACC - CACC), cùng với sự hoàn thiện về mặt công nghệ của các hệ thống khác như hệ thống hỗ trợ phanh khẩn cấp (BA), hệ thống hỗ trợ đậu xe song song,

hệ thống phát hiện điểm mù... đã tạo nên một bước tiến mới trong nền công nghiệp xe hơi nói chung và trong lĩnh vực nghiên cứu của xe tự hành nói riêng [39].

Mặc dù về mặt công nghệ đã đạt được một số kết quả đáng kể nhưng vẫn còn nhiều thách thức nếu mong muốn xe tự hành có thể hoạt động trên đường công cộng. Những khó khăn, thách thức về mặt kĩ thuật, công nghệ và pháp lí vẫn chưa có được giải pháp hiệu quả. Một số ý kiến thảo luận đã được đưa ra giữa các nhà sản xuất với các cơ quan chức năng của chính phủ nhằm tạo ra khuôn khổ cho các tiêu chuẩn và quy định cho hệ thống xe tự hành như dự án city mobi2 [17] đang diễn ra ở các nước châu Âu đã đề cập.

Khi nghiên cứu về lĩnh vực xe tự hành, có thể thấy mỗi nhà sản xuất, mỗi dự án đều có các đề xuất về cấu trúc điều khiển khác nhau. Nhưng một kiến trúc chung về xe tự hành có thể thấy qua Hình 1, dựa trên kiến trúc này mà các nhà phát triển đưa ra kế hoạch cho sản phẩm của mình.

Trong các khối kiến trúc của hệ thống này thì chức năng lập kế hoạch chuyển động hay thiết lập đường đi là

^aTrường Đại học Nghệ thuật - Đại học Huế

^bTrường Đại học Sư phạm - Đại học Đà Nẵng

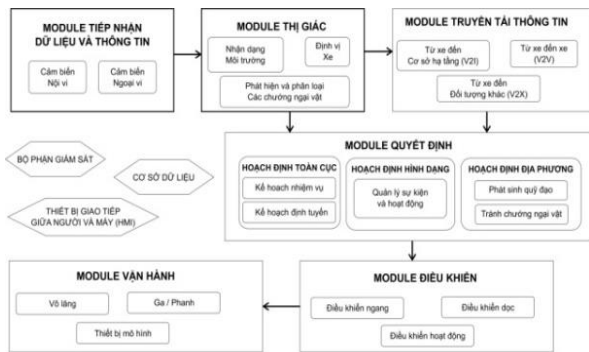
* Tác giả liên hệ

Phạm Anh Phương

Email: paphuong@ued.udn.vn

thành phần được chú trọng phát triển trong khối quyết định hoạt động của hệ thống. Chủ đề này đã và đang được nghiên cứu rộng rãi với sự phát triển đầu tiên trong các ứng dụng robot [35], nó được coi là một khía cạnh quan trọng cho việc điều hướng vì nó quy định đường đi toàn cục và địa phương cho hoạt động của robot. Việc thiết lập đường đi không chỉ là việc di chuyển đến điểm đích cuối cùng, mà điểm khác biệt trong thiết lập đường đi giữa xe tự hành và robot là việc thực hiện kế hoạch chuyển động phụ thuộc vào mạng lưới các quy tắc giao thông và những tính huống có thể xảy ra trong môi trường giao thông công cộng.

Phần tiếp theo của bài báo chúng tôi sẽ phác thảo một cái nhìn tổng quan về tình hình thực hiện và nghiên cứu các kỹ thuật lập kế hoạch chuyển động cho xe tự hành, một số đánh giá về các kỹ thuật lập đường đi, những thách thức, hướng nghiên cứu từ các nhà nghiên cứu, các nhà sản xuất trong việc phát triển quy hoạch chuyển động của xe tự hành. Từ đó đề xuất một số hướng nghiên cứu cho bài toán xe tự hành.



Hình 1. Cấu trúc điều khiển trong xe tự hành

2. Các kỹ thuật xác định đường đi của xe tự hành

Những năm đầu của thập niên 90, do chưa có sự đầu tư nên lĩnh vực của xe tự hành và các phương tiện thông minh còn rất hạn chế. Sau này, các cuộc cách mạng công nghệ cùng với sự ra đời khái niệm hệ thống giao thông thông minh (ITS) đã góp phần cho sự phát triển của lĩnh vực nghiên cứu xe tự hành.

Trong nghiên cứu [18] tác giả đã mô tả các hệ thống điều khiển dọc (bao gồm các phương tiện điều khiển sau, thông tin liên lạc giữa các phương tiện và so sánh giữa các phương tiện khác nhau) và các hệ thống điều khiển ngang (xét đến các lực ngang bên trong của

xe và cảm biến từ để làm tham chiếu đường đi chuyển đổi cho những đường đi phức tạp).

Trong cấu trúc phần mềm của xe tự hành, 03 module (điều khiển, thị giác và quyết định) là thành phần chính đã sử dụng các kỹ thuật về thị giác máy tính và tìm đường để xác lập quá trình điều khiển của xe. Trọng tâm của hệ thống phần mềm là liên quan đến thành phần quyết định của kiến trúc, cụ thể là các kỹ thuật quy hoạch chuyển động của xe.

Quy hoạch chuyển động trong xe tự hành là một chủ đề nghiên cứu trong nhiều thập kỉ qua. Hầu hết các tác giả phân chia vấn đề thành 2 hướng gồm quy hoạch toàn cục và quy hoạch địa phương [10, 33, 40] với các phương pháp tiếp cận và định nghĩa khái niệm khác nhau.

Các quy hoạch chuyển động có thể được chia thành 4 nhóm: Tìm kiếm trong đồ thị, dựa trên mẫu, nội suy và các phương pháp tối ưu.

2.1. Lập quy hoạch dựa trên đồ thị tìm kiếm

Trong xe tự hành, ý tưởng cơ bản cho việc di chuyển từ điểm A đến điểm B là diễn tả một không gian trạng thái, không gian trạng thái này thường được biểu diễn dưới dạng lưới hoặc mạng lưới mô tả vị trí của đối tượng trong môi trường.

Từ quan điểm quy hoạch điểm, một giải pháp về thiết lập đường chuyển động được tạo ra bằng thuật toán tìm kiếm trong đồ thị đi qua các trạng thái khác nhau trong lưới, nhưng đường đi được tạo ra cũng có thể không phải là giải pháp đường đi tối ưu.

Một số thuật toán đã được áp dụng như:

* Thuật toán Dijkstra: Đây là thuật toán giải quyết bài toán đường đi ngắn nhất, thường được sử dụng trong định tuyến với một chương trình con trong các thuật toán đồ thị hay trong công nghệ hệ thống định vị toàn cầu (GPS). Trong nghiên cứu [11, 19, 36, 41] nhóm tác giả đã sử dụng thuật toán này để mô phỏng kế hoạch thiết lập đường đi cho nhiều loại xe khác nhau.

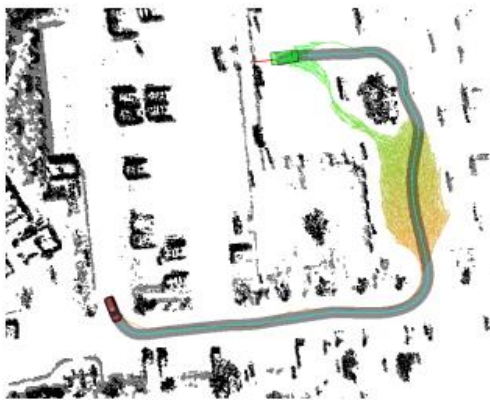


Hình 2. Thiết lập đường đi bằng Thuật toán Dijkstra [36]

Kế hoạch lập đường đi ngắn nhất bằng phương pháp này có thể tìm được trong một loạt các nút hoặc lưới, thích hợp cho lập kế hoạch toàn cục trong các môi trường hoạt động. Nhưng tốc độ thực hiện thuật toán chậm ở các khu vực có nhiều nút điều khiển, việc tìm kiếm đường đi không phải là phỏng đoán, kết quả đường đi tạo ra không liên tục, do đó không thích hợp cho các ứng dụng thời gian thực.

* Thuật toán A-Star (A*): Đây là một thuật toán tìm kiếm trong đồ thị, cho phép tìm kiếm nút nhanh do sử dụng một đánh giá heuristic (đây là phần mở rộng thuật toán tìm kiếm trên đồ thị của Dijkstra). Trong các nghiên cứu [1, 2, 6, 20] các tác giả đã triển khai thuật toán A* cùng với hàm chi phí tương ứng để triển khai các ứng dụng như lên kế hoạch cho các không gian không có cấu trúc và các bãi đỗ xe.

Do phát triển dựa trên thuật toán Dijkstra và việc tìm kiếm heuristic đã làm giảm thời gian tính toán. Nhưng kết quả đường đi tạo ra không liên tục, các quy tắc heuristic không phải là đơn giản để tìm được các lần duyệt.



Hình 3. Thiết lập đường đi bằng Thuật toán A* [20]

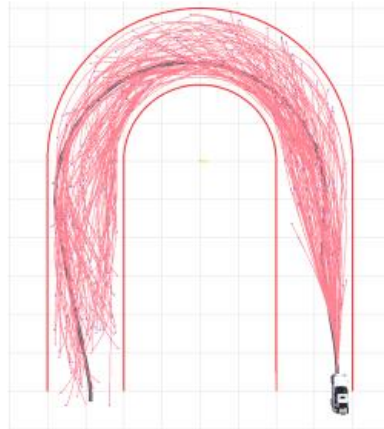
2.2. Lập quy hoạch dựa trên mẫu

Những bộ lập kế hoạch này giải quyết những ràng buộc về thời gian, tức là lập kế hoạch trong không gian mà các phương pháp xác định không đáp ứng được. Cách tiếp cận này gồm lấy mẫu ngẫu nhiên trong không gian hình dạng hoặc không gian trạng thái, tìm kiếm các kết nối, các mối liên hệ bên trong nó [33].

Nhược điểm của giải pháp này là đường chuyển động được tìm thấy vẫn nằm gần tới điểm tối ưu.

Các phương pháp được sử dụng phổ biến là cây RRT [37] đã được cài đặt thử nghiệm trong các ứng dụng mô phỏng xe tự hành tại các nghiên cứu [9].

Cây RRT là một cấu trúc dữ liệu ngẫu nhiên và hiệu quả thiết kế dành cho việc tìm kiếm trong không gian đa chiều. Cây RRT có thể được coi như là một kỹ thuật để tạo ra những điểm ngẫu nhiên trong hệ thống phi tuyến, đặc biệt thích hợp cho vấn đề lập quỹ đạo đường đi trong không gian có vật cản và các ràng buộc non-holonomic và kinodynamic.



Hình 4. Thiết lập đường đi bằng Cây RRT [37]

Kỹ thuật này có ưu điểm là có khả năng cung cấp giải pháp nhanh trong các hệ thống đa chiều. Thuật toán được hoàn thành và luôn hội tụ với một giải pháp (nếu có và cho đủ thời gian), thích hợp cho quy hoạch toàn cục và địa phương. Nhưng kết quả quỹ đạo chuyển động được tạo ra không liên tục và tạo giật khi di chuyển. Việc tối ưu đường đi phụ thuộc vào khung thời gian cho những trường hợp sử dụng cây RRT.

2.3. Lập quy hoạch bằng đường cong nội suy

Các kỹ thuật như thiết kế hình học bằng máy tính (Computer Aided Geometric Design - CAGD) thường

được sử dụng để làm mịn đường dẫn từ một tập các điểm trung gian [32]. Điều này cho phép chúng ta lập kế hoạch chuyển động phù hợp với mô tả đường đi bằng cách xét tính khả thi, sự tiện lợi và các thông số khác để lập quỹ đạo di chuyển phù hợp.

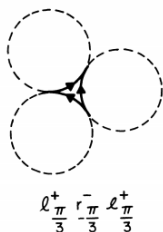
Phương pháp nội suy được định nghĩa là quá trình xây dựng và đưa vào một bộ dữ liệu mới trong phạm vi của một tập hợp đã biết trước đó (các điểm tham chiếu). Nghĩa là, các thuật toán này đã có tập các node (ví dụ như đó là tập hợp các điểm mốc mô tả một bản đồ đường đi tổng quát) và một tập dữ liệu mới được tạo ra sẽ có nhiều ưu điểm như tạo được quỹ đạo liên tục, đã hạn chế về phương tiện và môi trường xung quanh làm thay đổi hướng di chuyển của xe [30].

Việc xuất hiện các chướng ngại vật trên đường đi thì đối với giải pháp này sẽ tạo ra một con đường mới nhằm vượt qua và sau đó sẽ tiếp tục tái nhập với cung đường đã lên kế hoạch trước đó.

Ưu điểm của kỹ thuật này là tối ưu độ cong và độ mịn của đường đi dựa trên kỹ thuật thiết kế hình học bằng máy tính (CAGD), thích hợp cho quy hoạch đường đi địa phương theo hướng tạo độ chuyển thoải mái và an toàn trong môi trường phức hợp. Tuy vậy, nhược điểm của kỹ thuật này là phụ thuộc vào quy hoạch toàn cục hoặc các điểm tham chiếu toàn cục, đồng thời khi xuất hiện chướng ngại vật trên đường đi đã lập thì phải mất thời gian tính toán lại từ đó làm hạn chế yếu tố thời gian thực của kỹ thuật này.

Có nhiều kỹ thuật khác nhau để làm mịn và xây dựng đường cong nội suy như:

* Sử dụng đường thẳng và đường tròn: Có thể biểu diễn bằng cách nội suy các điểm biết trước với các hình dạng đường thẳng và đường tròn để hình thành mạng lưới các đường phân đoạn khác nhau. Đây là phương pháp toán học đơn giản để tiếp cận xây dựng kế hoạch cho các loại xe khác nhau [13, 14].



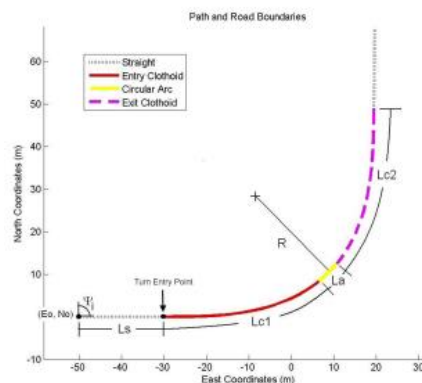
Hình 5. Thiết lập đường đi bằng đường thẳng và đường tròn [13]

Ưu điểm của phương pháp này là chi phí tính toán thấp, thực hiện đơn giản mà vẫn có thể có đạt hiệu quả tạo lộ trình ngắn nhất. Nhưng lộ trình tạo ra không liên tục, gấp khúc, tạo nên sự chuyển tiếp trong lộ trình không thoải mái giữa các đoạn của đường đi, việc lập kế hoạch phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.

* Sử dụng đường cong Clothoid: Đây là một dạng phổ biến của đường cong chuyển tiếp (Spiral) nối từ đường thẳng vào đường cong, có nhiệm vụ đảm bảo sự chuyển biến điều hòa về lực li tâm.

Sử dụng đường cong Clothoid có thể xác định quỹ đạo của những thay đổi tuyến tính, vì độ cong sẽ bằng chiều dài vòng cung của chúng, từ đó làm cho quá trình chuyển tiếp được liên tục giữa các đoạn thẳng thành các phần cong và ngược lại [7,39].

Ưu điểm của loại đường cong này là sự chuyển tiếp và các đường cong được thực hiện với một sự thay đổi tuyến tính trong độ cong, việc thiết kế đường cao tốc cũng như đường cong đô thị đều thực hiện theo loại đường cong này, phương pháp này phù hợp cho việc lập kế hoạch địa phương. Nhược điểm của phương pháp này là mất nhiều thời gian vì cần phân tích đường cong và độ cong liên tục nhưng không thể làm mịn đường đi (biểu diễn tuyến tính), việc lập kế hoạch tạo đường đi phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.

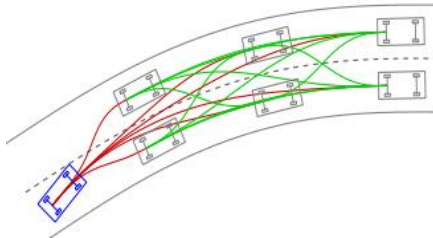


Hình 6. Thiết lập đường đi bằng đường cong Clothoid [39]

* Sử dụng đường cong đa thức: Đường cong dạng này thường được tạo ra để đáp ứng các ràng buộc cần thiết trong các điểm nội suy và sẽ hữu ích để phù hợp với vị trí, góc, độ cong và một số yêu cầu khác.

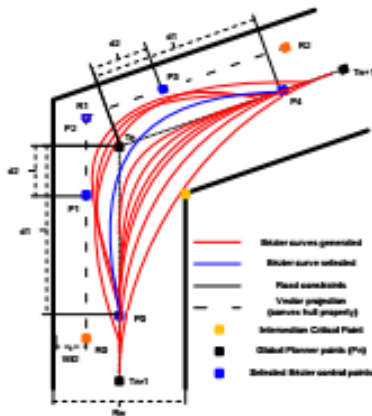
Các hệ số của đường cong được xác định bởi các ràng buộc và các giá trị cần phải đạt trong mỗi phân đoạn [4, 38].

Ưu điểm là chi phí tính toán thấp và các đường nối tiếp theo đó có thể phù hợp dễ dàng. Nhưng với nhược điểm là đường cong đa thức được triển khai thường từ bậc 4 trở lên, gây khó khăn và tăng độ phức tạp cho việc tính toán các hệ số để đạt được trạng thái đường đi xác định.



Hình 7. Thiết lập đường đi bằng đường cong đa thức [38]

* Sử dụng đường cong Bezier: Đây là một dạng đường cong tham số dựa vào tập các điểm kiểm soát để xác định hình dạng, cốt lõi của các đường cong Bezier là đa thức Bernstein. Ưu điểm của loại đường cong này là chi phí tính toán thấp, các ràng buộc ở đầu và cuối của đường cong có thể được đáp ứng bằng cách đặt đúng các điểm kiểm soát theo các đặc tính khác nhau [16, 23]. Ví dụ điển hình về ứng dụng đường cong Bezier trong hoạch định đường đi có thể xem qua các nghiên cứu [16, 28, 29, 42], ở đây các tác giả đã áp dụng những đường cong bezier để ước lượng các đường cong Clothoid, hoặc thực hiện các đường cong Bezier để lập kế hoạch nhanh và phù hợp nhất cho các tình huống gặp trên đường như gặp ngã rẽ, vào vòng xuyên, thay đổi làn đường, tránh chướng ngại vật và một vài tình huống khác.

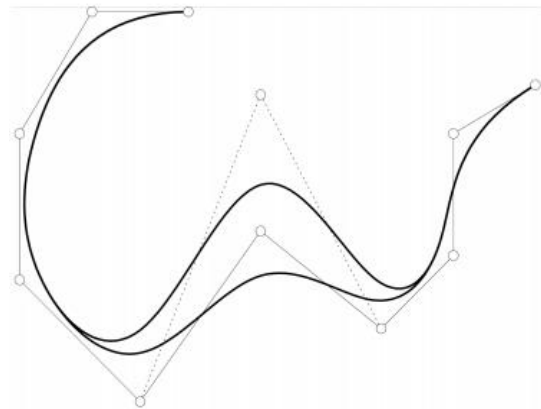


Hình 8. Thiết lập đường đi bằng đường cong Bezier [42]

Với ưu điểm là chi phí tính toán thấp, đường đi được tạo ra một cách trực quan nhờ vào các điểm điều khiển xác định của nó và các đường nối tiếp theo đó có thể phù hợp dễ dàng, nhưng vẫn còn nhược điểm là làm mất đi tính linh hoạt khi tăng độ cong, cũng như thời gian tính toán tăng do khi bổ sung nhiều điểm điều khiển thì cần phải đánh giá và tái tạo lại đường đi chính xác. Kết quả của phương pháp này phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.

* Sử dụng đường cong Spline: Spline là một đường cong tham số đa thức với các khoảng phụ được chia ra có thể là các đường đa thức. B-spline cũng có thể biểu diễn trong đường cong Bezier hoặc đường cong Clothoid. Những nghiên cứu [4, 7, 31, 34] đã đưa ra cách biểu diễn đường đi bằng cách sử dụng đường cong Spline.

Ưu điểm là chi phí tính toán thấp với kết quả là một đường cong liên tục được điều khiển bởi các nút khác nhau. Nhưng giải pháp sử dụng đường cong Spline có thể không tối ưu vì kết quả của nó tập trung vào việc đạt được sự liên tục giữa các thành phần hơn tính đa dạng để phù hợp với các hạn chế của mạng lưới giao thông.



Hình 9. Thiết lập đường đi bằng đường cong Spline [31]

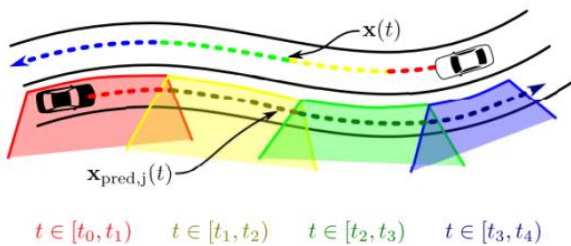
2.4. Lập quy hoạch bằng phương pháp tối ưu

Những phương pháp này nhằm tìm giá trị cực tiểu hay cực đại của một chức năng nào đó tùy thuộc vào các ràng buộc khác nhau [21].

Trong quy hoạch đường đi chuyển nó thường được sử dụng để làm mịn các quỹ đạo được tính toán trước [5] và cũng có thể để tính các quỹ đạo từ các mối liên kết động [22].

Việc sử dụng hàm tối ưu là một kỹ thuật cho phép tìm ra giá trị thực của hàm gốc (cực tiểu kết quả biến).

Phương pháp này có ưu điểm là các hạn chế trên mạng lưới giao thông và các đối tượng tham gia giao thông có thể dễ dàng được tính đến. Nhưng điểm bất lợi là mất thời gian tính toán khi thực hiện chức năng tối ưu đường đi ở mỗi trạng thái chuyển động. Do đó, phương pháp này sẽ được dừng lại ở một thời điểm nào đó, việc lập kế hoạch chuyển động phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.



Hình 10. Thiết lập đường đi bằng hàm tối ưu [21]

Mặc dù ý tưởng về xe thông minh là tiền thân của xe tự hành ngày nay bắt đầu vào năm 1939 tại hội chợ thế giới New York với bài thuyết trình Futurama của GM's, nhưng phải mất nhiều thập kỉ để trở thành ý tưởng trong thực tế.

Một trong những dự án đầu tiên để thử nghiệm các kỹ thuật thiết lập đường đi là dự án ARGO từ VisLab [4], với một hệ thống dựa trên thị giác, các kỹ thuật lập kế hoạch bao gồm điều chỉnh các Spline đa thức thành các tín hiệu làn đường được phát hiện bởi các camera lắp phía trước xe. Tiếp đó, chương trình Darpa PerceptOR [3,8] đã nghiên cứu và phát triển kỹ thuật điều hướng tự động.

Năm 2009, chiếc xe tự động không người lái đầu tiên của Google ra đời. Google cũng đã thúc đẩy việc ban hành về mặt pháp luật cho công nghệ này và cũng đã nhận giấy phép cho một chiếc xe tự động vào tháng 5/2010 [15]. Tuy nhiên, không có một sản phẩm nào về mặt kỹ thuật lập kế hoạch xác định đường đi hoặc khả năng kiểm soát có thể đạt được những kết quả đó.

Năm 2010, nhóm nghiên cứu Vislab - với hành trình VisLab Intercontinental Autonomous Challenge (VIAC) [32] của Ý đã chính thức khởi động dự án xe tự hành đi xuyên lục địa. Những chiếc xe trong dự án này sử dụng một hệ thống điện tử, điều khiển từ xa khá phức tạp bao gồm luôn cả việc thu nhận tín hiệu GPS, sử dụng các camera quan sát... để điều hướng cũng như thực hiện việc di chuyển. Trong kỹ thuật xác định đường đi của nghiên cứu này đã có sử dụng một hàm chi phí được coi là tạo ra đường cong clothoid [39].

Năm 2010, các nghiên cứu về xe tự hành tập trung vào bài toán lái xe theo đường và tránh chướng ngại vật. Năm 2012, các lĩnh vực nghiên cứu tiếp tục tập trung vào chủ đề lái xe đô thị và phát hiện tín hiệu giao thông [26], trong giai đoạn này các kỹ thuật xác định đường đi bao gồm các đường Clothoid [24], cây RRT [25] và một số kỹ thuật trước đó.

Gần đây, hãng xe hơi Audi với nỗ lực liên hợp với Stanford [12,27] đã trình diễn khả năng kiểm soát xe đạt hiệu suất cao khi sử dụng kỹ thuật đường cong Clothoid để lập kế hoạch phân khúc đường cong trong xác định đường đi.

Bảng 1. So sánh ưu và nhược điểm trong các kỹ thuật lập kế hoạch chuyển động

Kỹ thuật	Ưu và nhược điểm
Dijkstra's	Ưu điểm: Kế hoạch lập đường đi ngắn nhất bằng phương pháp này có thể tìm được trong một loạt các nút hoặc lưới, thích hợp cho lập kế hoạch toàn cục trong các môi trường hoạt động.
	Nhược điểm: Tốc độ thực hiện thuật toán chậm ở các khu vực có nhiều nút điều khiển, việc tìm kiếm đường đi không phải là phỏng đoán, kết quả đường đi tạo ra không liên tục, do đó không thích hợp cho các ứng dụng thời gian thực.
A*	Ưu điểm: Do phát triển dựa trên thuật toán Dijkstra và việc tìm kiếm heuristic đã làm giảm thời gian tính toán.
	Nhược điểm: Kết quả đường đi tạo ra không liên tục, các quy tắc heuristic không phải là đơn giản để tìm được các lần duyệt.

Cây RRT	Ưu điểm: Có khả năng cung cấp giải pháp nhanh trong các hệ thống đa chiều. Thuật toán được hoàn thành và luôn hội tụ với một giải pháp, thích hợp cho quy hoạch toàn cục và địa phương.
	Nhược điểm: Nhưng kết quả quỹ đạo chuyển động được tạo ra không liên tục và tạo giật khi di chuyển. Việc tối ưu đường đi phụ thuộc vào khung thời gian cho những trường hợp sử dụng cây RRT.
Đường cong nội suy	Ưu điểm của kỹ thuật này là tối ưu độ cong và độ mịn của đường đi dựa trên kỹ thuật thiết kế hình học bằng máy tính (CAGD), thích hợp cho quy hoạch đường đi địa phương theo hướng tạo độ chuyển thoải mái và an toàn trong môi trường phức hợp.
	Nhược điểm: Phụ thuộc vào quy hoạch toàn cục hoặc các điểm tham chiếu toàn cục, đồng thời khi xuất hiện chướng ngại vật trên đường đi đã lập thì phải mất thời gian tính toán lại từ đó làm hạn chế yếu tố thời gian thực của kỹ thuật này.
Sử dụng đường thẳng và đường tròn	Ưu điểm: Chi phí tính toán thấp, thực hiện đơn giản mà vẫn có thể có đạt hiệu quả tạo lộ trình ngắn nhất.
	Nhược điểm: Lộ trình tạo ra không liên tục, gấp khúc, tạo nên sự chuyển tiếp trong lộ trình không thoải mái giữa các đoạn của đường đi, việc lập kế hoạch phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.
Đường Clothoid	Ưu điểm của loại đường cong này là sự chuyển tiếp và các đường cong được thực hiện với một sự thay đổi tuyến tính trong độ cong, việc thiết kế đường cao tốc cũng như đường cong đô thị đều thực hiện theo loại đường cong này, phương pháp này phù hợp cho việc lập kế hoạch địa phương.
	Nhược điểm của phương pháp này là mất nhiều thời gian vì cần phân tích đường cong và độ cong liên tục nhưng không thể làm mịn đường đi (biểu diễn tuyến tính), việc lập kế hoạch tạo đường đi phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.
Đường cong đa thức	Ưu điểm: Chi phí tính toán thấp và các đường nối tiếp theo đó có thể phù hợp dễ dàng.
	Nhược điểm: Đường cong đa thức được triển khai thường từ bậc 4 trở lên, gây khó khăn và tăng độ phức tạp cho việc tính toán các hệ số để đạt được trạng thái đường đi xác định.
Đường Bezier	Ưu điểm: Chi phí tính toán thấp, đường đi được tạo ra một cách trực quan nhờ vào các điểm điều khiển xác định của nó và các đường nối tiếp theo đó có thể phù hợp dễ dàng
	Nhược điểm: Mất đi tính linh hoạt khi tăng độ cong, cũng như thời gian tính toán tăng do khi bổ sung nhiều điểm điều khiển thì cần phải đánh giá và tái tạo lại đường đi chính xác. Kết quả của phương pháp này phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục
Đường Spline	Ưu điểm: Chi phí tính toán thấp với kết quả là một đường cong liên tục được điều khiển bởi các nút khác nhau.
	Nhược điểm: Giải pháp sử dụng đường cong Spline có thể không tối ưu vì kết quả của nó tập trung vào việc đạt được sự liên tục giữa các thành phần hơn tính đa dạng để phù hợp với các hạn chế của mạng lưới giao thông.
Phương pháp tối ưu	Ưu điểm: Các hạn chế trên mạng lưới giao thông và các đối tượng tham gia giao thông có thể dễ dàng được tính đến.
	Nhược điểm: mất thời gian tính toán khi thực hiện chức năng tối ưu đường đi ở mỗi trạng thái chuyển động. Do đó, phương pháp này sẽ được dừng lại ở một thời điểm nào đó, việc lập kế hoạch chuyển động phụ thuộc vào các điểm tham chiếu toàn cục.

3. Kết luận và đề xuất

Sự phát triển của các thuật toán lập kế hoạch thông minh là một trong những vấn đề chính khi thiết kế cấu trúc xe tự hành. Các ràng buộc liên quan trong khu vực hoạt động như lưu lượng giao thông, tốc độ thay đổi hoặc cấu trúc đường giao thông đã tạo nên những kế hoạch chuyển động luôn thay đổi theo thời gian thực và đó là vấn đề cần đạt được trong điều khiển hoạt động ở môi trường phức tạp.

Bài báo này tập trung vào việc nghiên cứu kỹ thuật lập kế hoạch di chuyển của xe tự hành từ 2 quan điểm:

1. Đánh giá, phân loại các yếu tố kỹ thuật khác nhau trong quá trình xây dựng kế hoạch chuyển động, bao gồm: Tìm kiếm trong đồ thị, dựa trên mẫu, nội suy và phương pháp tối ưu.

2. Xem xét kết quả của các nhóm nghiên cứu trên thế giới đã thực hiện kỹ thuật xác lập kế hoạch chuyển động trên xe tự hành từ mô phỏng đến thực tế (xem Bảng 1).

Từ đó nhận thấy rằng, các nhóm nghiên cứu sử dụng 2 thuật toán chính là nội suy và tìm kiếm trong đồ thị.

Giải quyết bài toán xác định đường đi trong xe tự hành thì chiếm phần lớn các nhóm nghiên cứu sử dụng phép nội suy để giải quyết các vấn đề, lí do chính để lựa chọn kỹ thuật này bởi vì dữ liệu bản đồ (dữ liệu GPS) đang được nâng cao trong môi trường có cấu trúc, đã tạo điều kiện có thể cung cấp các điểm điều khiển cần thiết để các đường cong tối ưu về độ mịn, độ liên tục, các ràng buộc của xe và tốc độ được đáp ứng.

Tiếp theo kỹ thuật nội suy là tìm kiếm trong đồ thị, giải pháp này đã được áp dụng khi xử lí các ứng dụng thời gian thực, lí do để lựa chọn kỹ thuật này là yếu tố tìm kiếm nhanh đường dẫn tối ưu mà có thể thực hiện trong thời gian thực.

Những thách thức hiện tại liên quan đến việc tính toán lập quy hoạch chuyển động thời gian thực trong môi trường thực tế, nơi có nhiều tác nhân như người đi bộ, các phương tiện tham gia giao thông khác nhau... đều phải được tính đến từ yêu cầu xây dựng lại kế hoạch chuyển động được đánh giá luôn liên tục (và tính toán lại) các quỹ đạo đã xác định. Vấn đề giới hạn về thời gian để tạo ra quỹ đạo mới với nhiều yếu tố di động là một thách thức chưa được giải quyết.

Một xu hướng mới về bài toán xác lập đường đi cho xe tự hành là thiết lập thêm trình điều khiển trong vòng điều khiển để xác định đường đi. Quá trình này xuất phát từ vấn đề nghiên cứu quy hoạch hành trình của thiết bị giám sát giao tiếp giữa người và máy (HMI), điều này tạo ra một thách thức mới trong nghiên cứu bởi những nó là tổ hợp những tính bất định, các kiểm soát ràng buộc và kiến thức an toàn khi lái xe để tạo một hành trình an toàn với một đường đi đạt hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. Nash, K. Daniel, S. Koenig et al (1999). Theta: Any-angle path planning on grids. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, 22, 2. Menlo Park, CA; Cambridge, MA; London; AAI Press; MIT Press; 2007, 1177.
- [2] A. Stentz (1994). Optimal and efficient path planning for partially-known environments. *Robotics and Automation, 1994. Proceedings.*, IEEE 3310-3317.
- [3] A. Kelly, A. Stentz, O. Amidi et al (2006). Toward reliable off road autonomous vehicles operating in challenging environments. *The International Journal of Robotics Research*, 25, 5-6, 449-483.
- [4] A. Piazzzi, C. G. Lo Bianco, M. Bertozzi et al (2002). Quintic g²-splines for the iterative steering of vision-based autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3, 27-36.
- [5] D. Dolgov, S. Thrun, M. Montemerlo et al (2010). Path planning for autonomous vehicles in unknown semi-structured environments. *The International Journal of Robotics Research*, 29, no. 5, 485-501.
- [6] D. Ferguson and A. Stentz (2006). Using interpolation to improve path planning: The field d* algorithm. *Journal of Field Robotics*, 23, 2, 79-101.
- [7] D. Walton and D. Meeke (2005). A controlled clothoid spline. *Computers & Graphics*, 29, 3, pp. 353-363.
- [8] E. Krotkov, S. Fish, L. Jackel et al (2007). The darpa perceptor evaluation experiments. *Autonomous Robots*, 22, 1, 19-35.
- [9] Y. Kuwata, S. Karaman, J. Teo et al (2009). Real-time motion planning with applications to autonomous urban driving. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 17, 5, 1105-1118.
- [10] Y. K. Hwang and N. Ahuja (1992). Gross motion planning a survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 24, 3, 219-291.

- [11] J. Bohren, T. Foote, J. Keller et al (2008). Little ben: The ben franklin racing team's entry in the 2007 darpa urban challenge. *Journal of Field Robotics*, 25, 9, 598-614.
- [12] J. Funke, P. Theodosis, R. Hindiyeh et al (2012). Up to the limits: Autonomous audi tts. *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, 541-547.
- [13] J. Reeds and L. Shepp (1990). Optimal paths for a car that goes both forwards and backwards. *Pacific Journal of Mathematics*, 145, 2, 367-393.
- [14] J. Horst and A. Barbera (2006). Trajectory generation for an on-road autonomous vehicle. *Defense and Security Symposium, international Society for Optics and Photonics*, 62 302J-62 302J.
- [15] J. M. Anderson, K. Nidhi, K. D. Stanley et al (2014). *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*. Rand Corporation
- [16] J. Perez, R. Lattarulo and F. Nashashibi (2014). Dynamic trajectory generation using continuous-curvature algorithms for door to door assistance vehicles. *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE. IEEE*, 510-515.
- [17] J. van Dijke and M. van Schijndel (2012). Citymobil, advanced transport for the urban environment: Update. *Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board*, 2324, 29-36.
- [18] S. E. Shladover, C. A. Desoer, J. K. Hedrick et al (1991). Automated vehicle control developments in the path program. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 40, 1, 114-130.
- [19] J. Y. Hwang, J. S. Kim, S. S. Lim, and K. H. Park (2003). A fast path planning by path graph optimization. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 33, 1, 121-129.
- [20] J. Ziegler, M. Werling, and J. Schroder (2008). Navigating car-like robots in unstructured environments using an obstacle sensitive cost function. *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE. IEEE*, 787-791.
- [21] J. Ziegler, P. Bender, T. Dang et al (2014). Trajectory planning for bertha a local, continuous method. *Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 2014 IEEE. IEEE*, 450-457.
- [22] J. Ziegler, P. Bender, M. Schreiber et al (2014). Making bertha drive an autonomous journey on a historic route. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, 6, 2, 8-20.
- [23] J.w. Choi, R. Curry and G. Elkaim (2008). Path planning based on bezier curve for autonomous ground vehicles. *World Congress on Engineering and Computer Science 2008, WCECS'08. Advances in Electrical and Electronics Engineering-IAENG Special Edition of the. IEEE*, 158-166.
- [24] K. Chu, M. Lee, and M. Sunwoo (2012). Local path planning for off-road autonomous driving with avoidance of static obstacles. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 13, 4, 1599-1616.
- [25] K.Jo, M. Lee, D. Kim et al (2013). Overall reviews of autonomous vehicle a1- system architecture and algorithms. *Intelligent Autonomous Vehicles*, 8, 1, 114-119.
- [26] K. Jo, J. Kim, D. Kim, C. Jang, and M. Sunwoo (2014). Development of autonomous car-part i: Distributed system architecture and development process. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 12.
- [27] K.Kritayakirana and J. C. Gerdes (2012). Autonomous vehicle control at the limits of handling. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 10, 4, 271-296.
- [28] K.Yang and S. Sukkarieh (2010). An analytical continuous-curvature path smoothing algorithm. *Robotics, IEEE Transactions on*, 26, 3, 561-568.
- [29] L.Han, H.Yashiro, H. T. N. Nejad et al (2010). Bezier curve based path planning for autonomous vehicle in urban environ ment. *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE. IEEE*, 1036-1042.
- [30] L.Labakhua, U. Nunes, R. Rodrigues et al (2008). Smooth trajectory planning for fully automated passengers vehicles: spline and clothoid based methods and its simulation. *Informatics in Control Automation and Robotics*. Springer, 169-182.
- [31] L. Romani and M. Sabin (2004). The conversion matrix between uniform b-spline and bzier representations. *Computer Aided Geometric Design*, 21, 6, 549-560.
- [32] M. Brezak and I. Petrovic (2014). Real-time approximation of clothoids with bounded error for path planning applications. *Robotics, IEEE Transactions on*, 30, 2, 507-515.
- [33] M. Elbanhawi and M. Simic (2014). Sampling-based robot motion planning: A review. *Access, IEEE*, 2, 56-77.
- [34] T. Berglund, A. Brodник, H. Jonsson et al (2010). Planning smooth and obstacle-avoiding b-spline paths for autonomous mining vehicles. *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, 7, 1, 167-172.
- [35] S. Han, B. Choi, and J. Lee (2008). A precise curved motion planning for a differential driving mobile robot. *Mechatronics*, 18, 9, 486- 494.
- [36] S.M. LaValle (2006). *Planning algorithms*. Cambridge university press.

- [37] S.M. LaValle and J. J. Kuffner (2001). Randomized kinodynamic planning. *The International Journal of Robotics Research*, 20, 5, 378-400.
- [38] S.Glaser, B. Vanholme, S. Mammarr et al (2010). Maneuver-based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 11, 3, 589-606.
- [39] V. Milanés, S. Shladover, J. Spring et al (2014). Cooperative adaptive cruise control in real traffic situations. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 15, 1, 296-305.
- [40] V. Kunchev, L. Jain, V. Ivancevic, and A. Finn (2006). Path planning and obstacle avoidance for autonomous mobile robots: A review. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*. Springer, 537-544.
- [41] R. Kala and K. Warwick (2013). Multi-level planning for semi-autonomous vehicles in traffic scenarios based on separation maximization. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 72, 3-4, 559-590.
- [42] Z. Liang, G. Zheng, and J. Li (2012). Automatic parking path optimization based on bezier curve fitting. in *Automation and Logistics (ICAL), IEEE International Conference on*, Aug 2012, 583-587.

OVERALL EVALUATION MOTION PLANNING TECHNIQUES FOR AUTONOMOUS VEHICLES

Abstract: While studying autonomous vehicles, we can see that each manufacturer and each project propose different control structures; however, they have the same basic operation structure for autonomous vehicles. Basing on this structure, developers make plans for their products. Due to technical, technological and legal difficulties and challenges, there have not been any effective solutions for autonomous vehicles so that they can operate on public roads. Therefore, with the aim of enhancing the ability to path planning based on the information received from traffic infrastructure system and other vehicles on the road through sensors and signal receiving systems, techniques for determining different path and motion control will be established based on the information obtained through sensors and signal receiving systems on autonomous vehicles, which enables autonomous vehicles to operate in mixed environments with strategies to improve its performance and optimize its operation process. In this paper, we evaluate the techniques for setting up the path planning studied recently. Then, we propose a solution and application research on autonomous vehicle problem.

Key words: autonomous vehicle; path planning; motion planning; intelligent transportation systems.