ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM

TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN



BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ SINH VIÊN NĂM 2023

*Tên đề tài tiếng Việt:*

NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

*Tên đề tài tiếng Anh:*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF OBSTACLE AVOIDANCE PATH FOLLOWING ALGORITHM FOR AUTONOMOUS CAR NAVIGATION

Khoa: Kỹ Thuật Máy tính

Thời gian thực hiện: 06 tháng

Cán bộ hướng dẫn: ThS. Phạm Minh Quân

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| TT | Họ và tên, MSSV | Chịu trách nhiệm | Điện thoại | Email |
| 1 | Phạm Văn Mạnh | Chủ nhiệm | 0968744482 | 20521595@gm.uit.edu.vn |

Thành phố Hồ Chí Minh – Tháng 1/2024

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| LOGO DHCNTT -hinh.jpg | ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM  TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN | Ngày nhận hồ sơ |  |
| Mã số đề tài |  |
| *(Do CQ quản lý ghi)* | |

BÁO CÁO TỔNG KẾT

*Tên đề tài tiếng Việt:*

NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

*Tên đề tài tiếng Anh:*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF OBSTACLE AVOIDANCE PATH FOLLOWING ALGORITHM FOR AUTONOMOUS CAR NAVIGATION

|  |  |
| --- | --- |
| *Ngày 01 tháng 02 năm 2024.*  Cán bộ hướng dẫn  *(Họ tên và chữ ký)*    Phạm Minh Quân | *Ngày 01 tháng 02 năm 2024*  Sinh viên chủ nhiệm đề tài    Phạm Văn Mạnh |

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

- Chủ nhiệm: Phạm Văn Mạnh

- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Công nghệ Thông tin.

- Thời gian thực hiện: 6 tháng

2. Mục tiêu:

2.1. Lý do chọn đề tài

Ngày nay, tự động hóa đang phát triển mạnh mẽ và trở thành một trong những xu hướng nổi bật trên toàn cầu. Những công cụ tự động lần lượt ra đời đã góp phần giúp con người thực hiện các nhiệm vụ một cách nhanh chóng và hiệu quả hơn, từ việc giao tiếp, tìm kiếm thông tin, sản xuất, đến vận hành và điều khiển các thiết bị và hệ thống tự động hóa. Trong đó, xe tự hành là một dạng robot di chuyển tự động rất quan trọng được ứng dụng rộng rãi. Để ứng dụng vào thực tế, vấn đề phải làm sao cho xe di chuyển và tránh vật cản một cách chính xác và đảm bảo an toàn nhất có thể phải được đặt lên hàng đầu. Khi đó, "Path Following Line" là một phương pháp rất phù hợp. "Path Following Line" chính là một phương pháp điều khiển phổ biến được sử dụng để điều khiển hệ thống tự động, trong đó xe được hướng dẫn đi theo một đường đi hoặc quỹ đạo đã được xác định trước.

Việc áp dụng phương pháp “Path Following Line” vào xe tự hành giúp nâng cao hiệu suất và tăng độ chính xác các chuyển động. Hơn thế nữa, nó còn có thể giúp ngăn ngừa va chạm bằng cách đảm bảo rằng hệ thống tự động duy trì trên một đường đi cụ thể và tránh các chướng ngại vật trong môi trường. Chính vì vậy, nhóm đề tài quyết định nghiên cứu và phát triển một thuật toán ứng để có thể áp dụng vào thực tế, nhằm cải thiện độ chính xác và nâng cao độ an toàn trong quá trình hoạt động của xe tự hành.

2.2. Mục tiêu tổng quan

Đề tài tập trung tìm hiểu, nghiên cứu, thiết kế và phát triển thuật toán sử dụng phương pháp “Path Following Line” nhằm tạo ra đường đi tránh vật cản cho xe tự hành. Điều này giúp cho xe có thể di chuyển một cách an toàn và hiệu quả trong môi trường thực tế. Ngoài ra, thuật toán cũng có thể được tối ưu hóa để đảm bảo tốc độ di chuyển và độ chính xác của xe tự hành trong quá trình thực hiện nhiệm vụ. Thuật toán sẽ được thực thi để vẽ ra một đường đi phù hợp (mô phỏng như hình bên dưới) với những mục tiêu sau:

* Sử dụng camera, cảm biến khoảng cách và GPS để phát hiện vật cản
* Đề xuất ra đường đi tối ưu để tránh vật cản
* Xây dựng mô hình để xe di chuyển theo đường đi tối ưu.
* Áp dụng điều khiển hệ thống phanh để tránh vật cản

3. Tính mới và sáng tạo:

Tích hợp các cảm biến khác nhau như camera, radar và lidar không chỉ giúp xe tự hành nhận diện môi trường xung quanh một cách chính xác và hiệu quả mà còn cung cấp thông tin đa dạng về đối tượng và điều kiện giao thông. Camera được sử dụng để nhận diện biển báo, biển hiệu và nhận diện đối tượng như người đi bộ và phương tiện khác, trong khi radar và lidar cung cấp thông tin về khoảng cách và tốc độ của các đối tượng xung quanh.

Việc kết hợp các thuật toán tìm đường và mô hình sẽ giúp việc tính toán đường đi một cách nhanh chóng và chính xác. Các thuật toán này có thể sử dụng thông tin từ các cảm biến để tạo ra một bản đồ môi trường và dự đoán hành vi của các đối tượng di chuyển trong môi trường đó.

Ở bài nghiên cứu này, sẽ phát triển thuật toán có khả năng tự điều chỉnh dựa trên điều kiện giao thông làm thay đổi đường đi. Điều này có thể bao gồm việc sử dụng học máy để phân tích dữ liệu từ các cảm biến và điều chỉnh đường đi dựa trên thông tin mới nhận được. Hơn nữa, tích hợp hệ thống dự đoán hành vi của người tham gia giao thông sẽ giúp thuật toán đưa ra quyết định điều hướng phù hợp và an toàn khi gặp các tình huống bất ngờ và nguy hiểm. Việc áp dụng thuật toán FSTP (Free Segments and Turning Points) và phương trình tiếp tuyến của đường tròn tại 1 điểm ngoài đường tròn sẽ cho ra 2 phương trình đường thẳng tiếp tuyến tương ứng với 2 quyết định rẻ trái hoặc rẻ phải để tránh vật cản:

Đảm bảo thuật toán hoạt động một cách hiệu quả để xe có thể di chuyển một cách mượt mà và nhanh chóng là một phần quan trọng của quá trình phát triển. Các thuật toán cần được thiết kế để hoạt động trong thời gian thực và đáp ứng nhanh chóng với các tình huống mới phát sinh trong quá trình di chuyển.

Xe tự hành có tiềm năng thay đổi cách chúng ta di chuyển. Chúng có thể giúp giảm tắc nghẽn giao thông, giảm thiểu tai nạn và cải thiện chất lượng cuộc sống. Việc sử dụng chúng một cách thông minh và bền vững có thể tạo ra những lợi ích lớn cho cả xã hội và môi trường.Mặc dù còn một số thách thức cần giải quyết, nhưng tương lai của xe tự hành rất hứa hẹn.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

4.1 Thiết kế tổng quát hệ thống

4.1.1 Thực hiện hệ thống

Reference trong hệ thống tự lái xe đóng vai trò quan trọng trong việc định hình hành vi của hệ thống và xác định mục tiêu hoặc trạng thái mong muốn mà hệ thống cần phải đạt được. Reference thường được cung cấp dưới dạng một mục tiêu hoặc một chuỗi các trạng thái mong muốn, bao gồm các thông số như vị trí, hướng di chuyển, và tốc độ mong muốn của xe.

Reference không chỉ cung cấp một hướng dẫn cho hệ thống về cách di chuyển một cách an toàn và hiệu quả, mà còn giúp hệ thống đạt được sự liên tục và dự đoán trong hành vi di chuyển. Bằng cách so sánh với các thông số thực tế được đo lường từ cảm biến và GPS, hệ thống có thể điều chỉnh hành vi của mình để đảm bảo rằng xe luôn tiến hành theo đúng hướng và duy trì được sự an toàn trên đường.

Bicycle Model giúp giải quyết một vấn đề điều khiển tối ưu với ràng buộc đầu vào và trạng thái cùng với động học hệ thống. Hệ thống điều khiển xe tự hành, như được thể hiện trong hình 1, được thiết kế để giải quyết lặp đi lặp lại một cách trực tuyến: giải pháp của Bicycle Model cung cấp các quỹ đạo trạng thái và đầu vào với dự đoán nhiều bước dưới ràng buộc và chỉ áp dụng đầu vào bước đầu tiên, sau đó Bicycle Model lập kế hoạch lại sử dụng cùng một bản vẽ bằng cách sử dụng các trạng thái đo lường để lấy đầu vào điều khiển tiếp theo.

Hình 1, Bicycle Model cho việc điều chỉnh vận tốc và góc lái cho một xe tự hành. Bicycle Model có thể được giải quyết cho một quỹ đạo với tổng hợp khác nhau, và ô tô chỉ áp dụng đầu vào đầu tiên rất nhỏ. Đối với bước kiểm soát tiếp theo, trạng thái của ô tô được cập nhật, và Bicycle Model cùng với một số công thức được giải quyết lại, và duy trì quá trình này.

Và đối với ước lượng trạng thái, một bộ ước lượng trạng thái, như Kalman Filter (KF) cho một hệ thống tuyến tính, KF mở rộng và bộ lọc cho hệ thống phi tuyến tính, hoặc kết hợp với sự nhận thức dựa trên học như trích xuất điểm chính, có thể được áp dụng. Để điều chỉnh Bicycle Model, việc điều chỉnh tổng hợp dự đoán và chi phí có thể ảnh hưởng đến kết quả của Bicycle Model.

Khi kết hợp giữa reference (mục tiêu mong muốn) và thông tin về vị trí và hướng di chuyển hiện tại của xe, chúng ta có thể áp dụng mô hình Bicycle Model để tính toán vận tốc và góc lái cần thiết để đạt được mục tiêu. Dựa vào reference và thông tin về vị trí và hướng của xe hiện tại, chúng ta có thể tính toán được vận tốc cần thiết để đạt được mục tiêu trong thời gian và khoảng cách nhất định. Đồng thời, chúng ta cũng có thể tính toán góc lái cần điều chỉnh để phương tiện di chuyển theo hướng mong muốn, đảm bảo rằng xe luôn tiến hành theo đúng hướng và đạt được mục tiêu một cách an toàn và hiệu quả.

Khi phát hiện có vật cản xuất hiện trên đường đi, mục tiêu của chúng ta (reference) sẽ cần được điều chỉnh để tránh vật cản này và đảm bảo rằng phương tiện có thể tiếp tục di chuyển một cách an toàn và hiệu quả. Để thực hiện điều này, chúng ta có thể kết hợp giữa mô hình xe và thuật toán Free Segment and Turning Point.

Thuật toán Free Segment and Turning Point (FSTP) được sử dụng để xác định các điểm quan trọng trên đường đi và tạo ra các đoạn đường tự do (free segments) giữa các điểm này. Khi có vật cản xuất hiện, chúng ta có thể sử dụng thuật toán này để điều chỉnh đường đi khác, tạo ra các đoạn đường mới để tránh vật cản và đảm bảo rằng phương tiện vẫn có thể di chuyển tiếp mà không gặp phải trở ngại.

Chúng ta có thể tính toán lại các thông số này dựa trên mục tiêu mới để tránh vật cản và tiếp tục di chuyển một cách an toàn.Thuật toán Free Segment and Turning Point là một phương pháp để xác định đường đi tối ưu, bằng cách chia tuyến đường thành các đoạn tự do (Free Segments) và các điểm quay (Turning Points).

Kết hợp giữa mô hình và thuật toán Free Segment and Turning Point cho phép chúng ta thích nghi với môi trường xung quanh và điều chỉnh đường đi của phương tiện một cách linh hoạt, đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình di chuyển.

Kết hợp giữa mô hình và thuật toán Free Segment and Turning Point mang lại khả năng liên tục thích nghi với môi trường xung quanh bằng cách cập nhật liên tục các trạng thái và tình trạng của phương tiện thông qua các hệ thống cảm biến như camera, cảm biến khoảng cách và GPS. Các hệ thống cảm biến này cung cấp thông tin liên tục về vị trí, hướng di chuyển và môi trường xung quanh cho phương tiện. Dựa vào thông tin này, mô hình có thể tính toán vận tốc và góc lái cần thiết để đạt được mục tiêu mong muốn, trong khi thuật toán Free Segment and Turning Point sẽ điều chỉnh đường đi để tránh vật cản và đảm bảo an toàn cho phương tiện và người điều khiển.

4.1.2 Quy trình vận hành

Vòng lặp trong hình 2 minh họa rằng bài toán này là một bài toán phi tuyến tính, điều này đặt ra những yêu cầu phức tạp hơn và khó khăn hơn trong việc xây dựng các giải pháp cụ thể. Sự phi tuyến tính của bài toán làm cho quá trình dự đoán và điều khiển trở nên phức tạp hơn do sự tương tác phức tạp giữa các biến đầu vào và các biến đầu ra.

Trong bài toán này, các biến đầu vào như vị trí hiện tại, hướng của phương tiện, thông tin về môi trường xung quanh và các điều kiện đường bộ đều là các biến phi tuyến tính và thay đổi liên tục theo thời gian. Điều này làm cho việc dự đoán và điều khiển trở nên phức tạp hơn do phải xử lý sự biến đổi không đồng nhất của các biến này.

Tuy nhiên, việc sử dụng mô hình và thuật toán phù hợp có thể giúp giải quyết được sự phi tuyến tính trong bài toán này. Bằng cách sử dụng các phương pháp như mạng nơ-ron hoặc các phương pháp học sâu trên các đường đi và vật cản khác nhau (dựa trên loss function), chúng ta có thể xây dựng các mô hình có khả năng học và hiểu được sự phi tuyến tính trong dữ liệu và tạo ra các giải pháp dự đoán và điều khiển hiệu quả cho hệ thống tự lái.

4.2 Thiết kế Bicycle Model

4.2.1 Mô hình triển khai và biểu thức toán học

Bicycle Model được ví như phiên bản đơn giản hóa của mô hình xe hơi, thường được sử dụng để mô phỏng chuyển động của phương tiện trong các điều kiện lái thông thường. Mô hình này đóng vai trò quan trọng trong việc mô tả và dự đoán chuyển động của phương tiện trong nhiều tình huống khác nhau.

Trong Bicycle Model, phương tiện được mô phỏng như một hình học đơn giản, gồm hai bánh và một điểm trung tâm. Mỗi bánh được mô tả như một vòng tròn, và điểm trung tâm thể hiện vị trí trung tâm của phương tiện. Các thông số quan trọng như vận tốc, góc lái và hướng di chuyển được sử dụng để xác định chuyển động của phương tiện trong không gian.

Để phân tích vận động học của mô hình, chúng tôi cần lựa chọn một điểm tham chiếu (X, Y) trên phương tiện, có thể được đặt tại trung tâm trục sau, trung tâm trục trước hoặc tại trọng tâm. Điều này giúp chúng tôi hiểu rõ hơn về cách phương tiện di chuyển và cách nó ảnh hưởng đến vận động của nó trong môi trường.

Trong mô hình lái bằng bánh trước của Bicycle Model mà chúng tôi sẽ phát triển, hướng di chuyển của phương tiện được quyết định chủ yếu bởi hướng của bánh trước. Trong thực tế, việc điều khiển góc lái của bánh trước sẽ ảnh hưởng đến hướng di chuyển của phương tiện. Điều này tương ứng với việc người lái xe hoặc hệ thống tự lái quyết định hướng di chuyển bằng cách điều khiển bánh trước. Trong khi đó, bánh sau trong mô hình này không thể được điều khiển trực tiếp và chỉ đơn giản là theo sau bánh trước. Nó phản ánh đúng với thực tế trong nhiều loại phương tiện, như xe đạp, xe máy, hoặc các phương tiện tự lái có thiết kế dựa trên nguyên tắc này. Một trạng thái xe trong mô hình bao gồm trạng thái hiện tại [xr, yr, θ, δ], đồng thời các thông số đầu vào là [ν, φ]. Trong đó:

* (xr, yr) là vị trí của xe hiện tại.
* θ là góc hướng xe hiện tại.
* δ là góc lái hiện tại.
* L là chiều dài của xe
* ω là tốc độ quay (ω = , R là bán kính, )
* ν là vận tốc.
* φ là tốc độ lái.

**Trong mô hình động lực học, thuật toán dự đoán các điểm trên đường đi trong tương lai (t+1, t+2, t+3,...) dựa trên các trạng thái hiện tại và các thông tin đầu vào như vận tốc và góc quay của bánh trước. Cụ thể, các điểm dự đoán này được tính toán dựa trên quan hệ phức tạp giữa các yếu tố khác nhau như tốc độ, hướng di chuyển, và góc lái của phương tiện.**

**Thuật toán này sử dụng một mô hình dự đoán để ước lượng các trạng thái tiếp theo của xe dựa trên các trạng thái hiện tại và thông tin đầu vào. Các trạng thái dự đoán này được tính toán theo thời gian, cho phép mô hình dự đoán hành vi của xe trong tương lai.**

**Cụ thể, trạng thái dự đoán tại thời điểm t+1 sẽ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại t (tức là điểm đang đứng), trong khi trạng thái dự đoán tại thời điểm t+2 sẽ phụ thuộc vào trạng thái dự đoán tại t+1, và tiếp tục như vậy cho đến khi đạt được thời điểm tương lai mong muốn.** **Quan hệ phụ thuộc này giữa các trạng thái dự đoán giúp thuật toán dự đoán đường đi một cách liên tục và mạch lạc, đồng thời cũng giúp cải thiện tính chính xác của dự đoán và hiệu suất của hệ thống tự hành trong việc điều khiển xe trên đường. Và các dự đoán được tính toán như sau:**

**Trong đó:**

* + **.**

Dự đoán đường đi trong mô hình là cần thiết vì nó cung cấp thông tin về cách phương tiện sẽ di chuyển trong tương lai, giúp hệ thống điều khiển hoặc quản lý hành trình có thể đưa ra các quyết định phù hợp để đạt được mục tiêu nhất định. Bằng cách dự đoán đường đi, hệ thống có thể dự báo các tình huống tiềm ẩn trên đường, như giao thông đông đúc, vật cản, hoặc các phương tiện khác, giúp chuẩn bị sẵn sàng cho những tình huống khẩn cấp và tránh được các rủi ro. Dự đoán đường đi cũng cho phép tối ưu hóa hành trình, giúp tiết kiệm năng lượng và thời gian di chuyển bằng cách chọn các lộ trình tối ưu dựa trên điều kiện giao thông và các ràng buộc khác.

4.2.2 Mức độ thực tế và thông số kỹ thuật

Đường mục tiêu (reference) được cung cấp bởi người lập kế hoạch, chuyển động được giả định là không va chạm trong một phạm vi nhất định. Do đó, sự nhất quán giữa hai lớp điều khiển là quan trọng cho sự an toàn của phương tiện và người dùng: một quỹ đạo không khả thi hoặc quá khó để theo dõi cho bộ điều khiển trong mô hình có thể dẫn đến va chạm, như minh họa trên hình 5. Trong ví dụ này, quỹ đạo được lập kế hoạch tránh va chạm với xe màu vàng ở phía sau; tuy nhiên, do động lực học thực tế của phương tiện, quỹ đạo khả thi nhất được hiển thị bằng màu đỏ (nét đứt). Hơn nữa, do sai lệch điều khiển, quỹ đạo thực sự được phương tiện theo sau là quỹ đạo màu vàng, điều này sẽ dẫn đến va chạm. Đường mục tiêu được cung cấp bởi người lập kế hoạch được giả định là không va chạm trong một phạm vi nhất định.

Mô hình tập trung vào mô tả vận tốc, góc quay và hướng di chuyển của phương tiện trong một không gian, nhưng không cung cấp thông tin về cách phương tiện sẽ di chuyển trong tương lai. Trong khi đó, dự đoán đường đi khác của mô hình này bằng cách tính toán các quỹ đạo dựa trên trạng thái hiện tại của phương tiện và dự đoán về tương lai, giúp hệ thống điều khiển hoặc lái xe tự động có thể đưa ra các quyết định thông minh để đạt được mục tiêu và tương tác với môi trường xung quanh một cách hiệu quả. Do đó, dự đoán đường đi có thể coi là một cải tiến của kinematic bicycle model, mang lại khả năng dự đoán và điều khiển tốt hơn cho phương tiện di chuyển.

Các thông tin xe được nhóm mô phỏng như sau:

|  |  |
| --- | --- |
| Thông số | Giá trị |
| xr, yr | Số thực |
| θ | [0,2π] |
| δ | [-50,50] |
| L | 30 cm |
| ν | [-10,50] |

Các thông số của xe xử lý ảnh được quy định phù hợp với đề tài, đảm bảo rằng chúng không chỉ phản ánh đúng với yêu cầu của nghiên cứu mà còn có khả năng áp dụng trong đời sống thực tế. Nó sẽ đảm bảo rằng kết quả của nghiên cứu có thể được áp dụng vào các ứng dụng thực tế, như hệ thống xe tự hành, các hệ thống hỗ trợ lái xe, hoặc trong các ứng dụng công nghiệp khác liên quan đến xử lý ảnh.

4.3 Xây dựng thuật toán tránh vật cản

4.3.1 Nguyên lý của thuật toán đề xuất đường tránh

Vấn đề lập kế hoạch đường đi là một trong những chủ đề thú vị và được nghiên cứu nhiều nhất trong lĩnh vực xe tự hành. Mục tiêu chính của việc lập kế hoạch đường đi cho các xe tự hành di động là tìm kiếm một con đường an toàn để di chuyển. Để điều hướng một cách hiệu quả trong môi trường không biết trước, các xe cần xem xét việc tránh vật cản, tạo ra đường đi để đạt đến vị trí mục tiêu và điều chỉnh vận tốc.

Chúng tôi thu được các con đường an toàn như là các đường đi của xe trong các phương pháp không gian hình học. Tuy nhiên, các phương pháp này không tạo ra các đường đi ngắn nhất do thiếu thông tin về khoảng cách của các vật cản. Phương pháp này dựa trên các chỉ thị phân phối của các cảm biến khoảng cách trên xe. Khi xem xét các chỉ thị của các cảm biến khoảng cách, chúng tôi hiếm khi thu được các đường đi ngắn nhất vì tổng thể đường đi đến vị trí mục tiêu không được xem xét.

Bài viết sẽ nghiên cứu, phát triển một thuật toán mới để giải quyết vấn đề lập kế hoạch đường đi cho xe với việc tránh vật cản. Kế hoạch này, còn được gọi là kế hoạch đường đi tĩnh, có lợi thế là đảm bảo an toàn và đường đi ngắn. Hơn nữa, thuật toán được đề xuất được đặc trưng bởi hành vi phản ứng để tìm ra một quỹ đạo không va chạm và đường đi mượt mà. Trên phương diện khác, xe di động phải theo dõi quỹ đạo mà không va chạm với các vật cản.

LiDAR là loại cảm biến khoảng cách giúp tạo ra bản đồ khoảng cách bằng cách tính thời gian chiếu giữa ánh sáng laser được phát và phản xạ. Đề xuất một hệ thống cảm biến tích hợp cho một phương tiện tự hành bao gồm một camera, các cảm biến quay, GPS và LiDAR. Các đám mây điểm của môi trường hiện tại được chụp bằng LiDAR và được sử dụng để lập kế hoạch đường đi cục bộ. Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp phân đoạn nhanh chóng cho việc phát hiện chướng ngại vật và kết hợp việc loại bỏ các điểm không cần thiết, phát hiện các khu vực quan tâm và chiếu 3D thành 2D. Bằng cách xem xét công việc đã được thực hiện, cảm biến LiDAR 2D được chọn làm phần tử cảm nhận môi trường vì sự đơn giản và tính toán dễ dàng. Thuật toán được đề xuất cũng có thể hoạt động với LiDAR 3D, nhưng sẽ yêu cầu phân đoạn và chuyển đổi thành đám mây điểm 2D trước khi thực hiện thuật toán.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một phương pháp mới kết hợp các đặc điểm của thuật toán Free Segment và Turning Point để cải thiện khả năng điều hướng và tránh chướng ngại vật của xe tự hành. Để thực hiện điều này, chúng tôi sử dụng một công cụ mô phỏng để tạo ra bản đồ môi trường tĩnh giữa vị trí bắt đầu và mục tiêu của xe, sử dụng dữ liệu từ hệ thống LiDAR để thu thập thông tin về môi trường xung quanh. Dữ liệu này sau đó được truyền đến xe chính để tạo ra bản đồ cuối cùng và ước tính đường đi ngắn nhất và an toàn nhất giữa hai điểm. Kết quả của thuật toán giúp thay đổi đường đi mục tiêu (reference) của xe, từ đó cải thiện khả năng vượt chướng ngại vật và điều hướng trong môi trường phức tạp. Điều này giúp tăng cường hiệu suất và an toàn cho xe tự hành trong quá trình điều hành.

Trên hình 8, Free segment được coi là khoảng cách giữa hai điểm gần nhất của hai chướng ngại vật khác nhau. Nó tìm kiếm điểm cuối của một phân đoạn an toàn (safe free segment), nơi xe di động quay quanh điểm này mà không bị va chạm phải chướng ngại vật.

Để đảm bảo an toàn, chúng tôi chọn đoạn có khoảng cách SPi ( = 1, . . . , - 1) lớn hơn chiều rộng Dr của xe tự hành có biên độ bảo vệ δ (SPi ≥ Dr+ δ). Mặt khác, đoạn có khoảng cách nhỏ hơn chiều rộng của xe tự hành được coi là phân đoạn nguy hiểm (Danger segment). Trong công việc này, chúng tôi chỉ tính đến các phân đoạn an toàn và các phân đoạn nguy hiểm bị bỏ qua. Hơn nữa, và để xác định con đường ngắn nhất, chúng tôi đã xác định điểm của đoạn an toàn nhất cho con đường ngắn nhất. Ngay cả khi có vấn đề nguy hiểm, thuật toán đề xuất của chúng tôi sẽ phản ứng để cho phép xe tránh chướng ngại vật và đạt được mục tiêu. Trong trường hợp này, xe lưu lại turning point đã xác định và tìm kiếm một turning point mới để tránh va chạm với chướng ngại vật.

A diagram of a problem

Description automatically generated

Hình 9: Sơ đồ giải thuật việc tránh vật cản

Hình 9 mô tả sơ đồ giải thuật để hỗ trợ xe tự hành vượt qua chướng ngại vật. Bước đầu tiên của quá trình này là tìm ra tất cả các đoạn tự do (free segment) trong môi trường và tính toán các đoạn tự do đã tìm thấy. Khi xe tiến đến vị trí mục tiêu, việc quan trọng nhất là tìm con đường ngắn nhất có thể. Vì vậy, thuật toán sẽ lựa chọn các đoạn đường an toàn ngắn nhất để vượt qua chướng ngại vật.

Bước tiếp theo trong quá trình là xác định vùng an toàn cho việc quay xe, đó là việc xác định vòng tròn ôm cua sao cho xe có thể an toàn vượt qua các vật cản. Thông thường, vùng an toàn này được xác định dựa trên kích thước và hình dạng của xe cộ, cũng như khoảng cách cần thiết để tránh va chạm với các vật cản xung quanh.

Sau khi xác định được vùng an toàn, chúng ta tiến hành tạo ra một đường mục tiêu mới (reference) cho xe. Đường mục tiêu này được thiết lập để đưa xe quay trở lại đúng hướng đi và tiếp tục trên đường đi ban đầu trước khi gặp phải các vật cản.

Bước kế tiếp trong sơ đồ giải thật này là kiểm tra đường mục tiêu mới để đảm bảo rằng không có vấn đề gì xảy ra trên đường đi mới. Nếu có bất kỳ vấn đề nào được phát hiện, chúng ta cần phải xử lý vấn đề đó và điều chỉnh điểm turning point khác. Turning point này được chọn dựa trên việc sắp xếp thứ tự ưu tiên thông qua các đoạn đường có thể đi qua một cách an toàn (safe free segment). Sau khi chọn được điểm quay mới, chúng ta tiếp tục vòng lặp này cho đến khi không còn vấn đề nguy hiểm nào về đường đi mới, và quỹ đạo cuối cùng của đường đi được xác định.

Mặc dù con đường phù hợp đã được xác định trước, nhưng vẫn có thể xuất hiện một số vấn đề không thể dự đoán trước, và kết quả của những vấn đề này có thể gây ra sự cố cho xe và không thể tránh khỏi các chướng ngại vật.

Điều này đưa ra một yêu cầu quan trọng: mặc dù đã tìm thấy đường đi ngắn nhất để vượt qua các vật cản, nhưng chúng ta phải luôn kiểm tra đường đi. Nếu có khả năng xảy ra va chạm hoặc một tình huống đặc biệt, chúng ta cần phải có khả năng thay đổi đường đi ngay lập tức để tránh sự cố và đảm bảo an toàn cho xe và môi trường xung quanh.

4.3.2 Hình thành đường mục tiêu mới

A circle with a line and a line with a point in the center

Description automatically generated

Hình 10: Hình ảnh vẽ đường tránh vật cản

Trong đó:

* Điểm M là vị trí xe xử lý ảnh
* Điểm I là vị trí của turning point
* = (a,b) là véc tơ pháp tuyến của đường thẳng (Δ)
* R là bán kính điểm turning point

Để tiến hành khai triển bài toán và phát triển thuật toán Free Segment and Turning Point (FSTP), chúng ta cần bắt đầu bằng việc xác định phương trình của đường thẳng tiếp tuyến đến đường tròn. Phương trình này sẽ cung cấp thông tin quan trọng về hình dạng và hướng di chuyển của đường mục tiêu mới.

Cụ thể, việc xác định phương trình đường thẳng tiếp tuyến đến đường tròn sẽ giúp chúng ta tìm ra đường đi để vượt qua vật cản, nơi mà xe có thể thay đổi hướng di chuyển. Phương trình tiếp tuyến để vượt qua chướng ngại vật:

Để giải quyết bài toán, chúng ta cần chuyển đổi phương trình (1) sang phương trình (2). Sau đó, chúng ta sẽ sử dụng công thức tính khoảng cách từ điểm turning point (điểm I) đến đường thẳng Δ, cũng chính bằng giá trị R.

Trong bài nghiên cứu này, chúng tôi quyết định chọn giá trị bằng 1 cho tham số b trong phương trình (1) để đơn giản hóa quá trình giải quyết bài toán mà không làm mất đi tính chất quan trọng của bài toán. Bằng cách này, chúng tôi có thể tiếp cận bài toán một cách hiệu quả mà không cần phải xử lý những phức tạp không cần thiết.

(4)

Từ phương trình (3) khai triển thành dạng phương trình bậc hai (4). Sau khi chọn giá trị b, chúng tôi sẽ tiến hành giải phương trình 4 để tìm ra hai nghiệm là a1 và a2, tương ứng với hai trường hợp rẻ trái và rẻ phải để vượt chướng ngại vật. Các nghiệm này sẽ đại diện cho các điểm turning point khả thi trên đường tròn, từ đó giúp chúng tôi xác định được hướng đi tối ưu cho xe trong môi trường đường phức tạp.

Tương tự như việc xác định điểm turning point để vượt chướng ngại vật, chúng tôi cũng sẽ tiến hành tìm ra đường mục tiêu để quay trở lại con đường đi ban đầu trước khi gặp phải bất kỳ vật cản nào.Trong quá trình này, chúng tôi sẽ sử dụng các phương pháp và công thức tương tự như đã áp dụng trong việc xác định điểm turning point. Chúng tôi sẽ tính toán và giải phương trình để xác định vị trí mong muốn của xe, đại diện bởi điểm M đã đặt ra từ trước, khi quay trở lại con đường đi ban đầu.

Và trong bước cuối cùng, chúng tôi cần phải chia đều đường mục tiêu thành những phần bằng nhau, tạo thành những điểm phù hợp mà xe có thể hướng tới. Bước này cũng vô cùng quan trọng vì nếu không phân bố đồng đều, có thể dẫn đến tình trạng mô hình dự đoán sẽ tính toán sai. Nhóm sẽ tiến hành phân chia đường mục tiêu thành các phần nhỏ bằng nhau, đảm bảo rằng mỗi phần có độ dài tương đương và phù hợp để xe có thể di chuyển tới một cách mạch lạc và dự đoán chính xác.Bằng cách này, chúng tôi đảm bảo rằng mô hình dự đoán sẽ tính toán đúng và xe sẽ di chuyển một cách ổn định và an toàn trong môi trường đường phức tạp tránh va chạm phải vật cản.

4.4 Dự đoán và quyết định chuyển động của xe

4.4.1 Triển khai mô hình dự đoán

Các phương tiện tự hành đối mặt với mức độ không chắc chắn cao trong các tình huống giao thông phức tạp, chẳng hạn như hành vi ngẫu nhiên của người dùng đường trong tương lai ngắn, điều này làm trở ngại cho việc lập kế hoạch hiệu quả của các phương tiện tự hành và có thể dẫn đến kiểm soát phanh gấp hoặc không chính xác. Ngược lại, các mô-đun dự đoán chuyển động trong các phương tiện tự hành giúp các phương tiện tự hành hiểu rõ hơn về môi trường động xung quanh bằng cách ước lượng trạng thái chuyển động tương lai của người dùng đường. Dựa trên việc dự đoán về các trạng thái hoặc hành vi tương lai của các người dùng đường xung quanh, phương tiện tự hành có thể lập kế hoạch các đường đi an toàn và tiết kiệm thời gian, từ đó ngăn chặn việc tiêu hao năng lượng của phương tiện cá nhân. Ngoài ra, dựa trên việc dự đoán về trạng thái chuyển động của người dùng đường khác trong thời kỳ sắp tới, hệ thống phanh hoạt động trong phương tiện tự hành có thể tính toán xác suất va chạm một cách chính xác hơn, dựa trên đó có thể áp dụng các chiến lược tránh va chạm phù hợp để quyết định chính xác khi nào cần cảnh báo và phanh và cải thiện sự an toàn và thoải mái của hệ thống phanh của phương tiện tự hành. Do đó, dự đoán chuyển động sẽ tiến xa hơn trong việc phát triển phương tiện tự hành và thúc đẩy sự phát triển bền vững của các hệ thống giao thông thông minh.

Các phương pháp dự đoán chuyển động dựa trên vật lý được sử dụng để đạt được dự đoán chuyển động của phương tiện. Các phương pháp này áp dụng các mô hình vật lý để dự đoán trạng thái chuyển động của phương tiện mục tiêu, chẳng hạn như sử dụng các mô hình Constant Velocity (CV) và Constant Acceleration (CA). Để xem xét sự không chắc chắn của các trạng thái của phương tiện và các mô hình vật lý, một số dự án sử dụng các phương pháp Kalman Filtering để xử lý các nhiễu này

Biểu thức toán học của nhiệm vụ dự đoán chuyển động của xe được xây dựng ở đây. Dưới bối cảnh, chúng ta giả định rằng bước thời gian hiện tại là T, phạm vi thời gian quan sát lịch sử là {T – pred,…, T – 2, T – 1, T}, phạm vi dự đoán tương lai là {T + 1, T + 2, . . . , T +t, …, T + Tpred}, và số lượng mục tiêu là NTV. Nhiệm vụ dự đoán chuyển động của xe nhằm mục đích thu thập tập hợp các trạng thái chuyển động YTVs cho thời gian dự đoán tương lai của TVs.

Trong đó, là trạng thái chuyển động dự đoán của xe i tại bước thời gian T+t trong giai đoạn dự đoán. Xem xét sự không chắc chắn trong mô hình dự đoán, nhiệm vụ dự đoán có thể được biểu diễn dưới dạng xác suất có điều kiện: P(YTVs|Oobs, IS).

Nếu dự đoán chuyển động của xe được thực hiện dưới dạng dự đoán quỹ đạo, trạng thái dự đoán của xe mục tiêu i tại bước thời gian t trong giai đoạn dự đoán là vị trí 2D (, ). Đối với dự đoán quỹ đạo, do tính đa dạng của chuyển động của xe, nhiều công trình đồng thời dự đoán nhiều tập hợp trạng thái thay vì một đầu ra xác định duy nhất:

Trong đó:

\* K là biểu thị số lượng tổng cộng của các dạng.

Trong lĩnh vực giao thông, có sự phụ thuộc lẫn nhau hoặc tương tác phức tạp giữa các yếu tố trong cảnh quan giao thông là một vấn đề quan trọng và đầy thách thức. Ví dụ, khi một xe mục tiêu muốn đổi làn, nó cần xem xét trạng thái lái của các xe xung quanh. Trong khi đó, các hành động đổi làn được thực hiện bởi xe mục tiêu cũng sẽ ảnh hưởng đến các xe xung quanh. Do đó, mô hình dự đoán nên xem xét trạng thái của TVs và tương tác trong cảnh quan.

4.4.2 Lập kế hoạch hành vi

Một khó khăn khác trong việc dự đoán chuyển động của xe là chuyển động của xe là đa dạng. Hiếm khi có cơ hội trực tiếp tiếp cận ý định của tài xế, và tài xế thường có các phong cách lái xe khác nhau. Do đó, TVs có một mức độ không chắc chắn cao về chuyển động trong tương lai. Ví dụ, tại giao lộ trong hình 11, xe mục tiêu có thể chọn đi thẳng hoặc rẽ phải hoặc rẻ trái, mặc dù thông tin đầu vào lịch sử không thay đổi. Tùy thuộc vào phong cách lái xe, nó có thể có tốc độ lái khác nhau khi đi thẳng. Nhiều phương pháp dự đoán chuyển động hiện tại sử dụng các quỹ đạo đa dạng để biểu diễn sự đa dạng. Dự đoán quỹ đạo đa dạng đòi hỏi mô hình khám phá hiệu quả sự đa dạng của các dạng, và tập hợp các quỹ đạo dự đoán nên bao gồm các quỹ đạo gần với giá trị thực tế.

Trạng thái chuyển động trong tương lai của các xe thường bị ràng buộc bởi các yếu tố bản đồ tĩnh như cấu trúc làn đường và quy tắc giao thông, ví dụ, các xe ở làn rẽ phải cần phải thực hiện rẽ phải. Do đó, các mô hình nên tích hợp thông tin bản đồ một cách hiệu quả để rút trích các đặc điểm bối cảnh đầy đủ liên quan đến chuyển động tương lai của các xe.

Nhiều phương pháp chỉ dự đoán cho một xe mục tiêu duy nhất, tức là luôn bằng 1. Nhưng trong các kịch bản đông đúc, chúng ta có thể cần dự đoán trạng thái chuyển động của một số hoặc tất cả các xe xung quanh mình. Nói chung, thay đổi liên tục. Do đó, các mô hình cần dự đoán đồng thời cho nhiều tác nhân mục tiêu, và số lượng xe có thể được thay đổi linh hoạt theo điều kiện giao thông hiện tại. Hơn nữa, việc dự đoán chung của nhiều tác nhân cần xem xét sự phối hợp tương lai của trạng thái chuyển động của mỗi xe, ví dụ, không được phép có sự trùng lắp của quỹ đạo tương lai giữa các xe vào bất kỳ thời điểm nào.

Việc triển khai thực tế các mô hình dự đoán cũng là một thách thức. Đầu tiên, nhiều công trình giả định rằng mô hình có quyền truy cập vào quan sát hoàn chỉnh của các xe mục tiêu. Tuy nhiên, quỹ đạo có thể bị mất trong quá trình lái xe thực tế do che khuất. Việc dự đoán chính xác về xe mục tiêu dựa trên đầu vào bị mất vẫn là một vấn đề.

Thứ hai, nhiều phương pháp dự đoán xem hàm dự đoán là một mô-đun độc lập, thiếu các liên kết với các mô-đun khác của hệ thống lái tự động. Ngoài ra, có một vấn đề về tính kịp thời trong việc triển khai thực tế, đặc biệt là đối với các mô hình sử dụng các mạng nơ-ron sâu phức tạp, mà khi chạy tốn rất nhiều tài nguyên tính toán.

Các phương pháp dự đoán đa dạng dựa trên GAN ngẫu nhiên mẫu biến số nhiễu để biểu diễn các chế độ khác nhau và phân phối nhiễu được biết trước. Các phương pháp dự đoán đa dạng dựa trên Conditional Variational Auto Encoder-based (CVAE) tạo ra các biến ẩn liên quan đến chuyển động lịch sử và tương lai của xe mục tiêu, đại diện cho các chế độ chuyển động. Mô hình cần học phân phối biến bằng cách sử dụng mạng nơ-ron và sau đó mẫy thử các biến khác nhau trong giai đoạn suy luận để giải mã các quỹ đạo dự đoán đa luồn.

Phương pháp dự đoán đa luồn dựa trên tiên tri cụ thể hóa các chế độ cụ thể , chẳng hạn như các thao tác lái hoặc ý định của xe mục tiêu (xem Hình 12), và sau đó dự đoán các trạng thái chuyển động tương lai dựa trên mỗi chế độ một cách riêng biệt.

Dự đoán quỹ đạo của xe cho các kịch bản thay đổi làn đường trên xa lộ xác định trước hai thao tác theo chiều dọc (lái xe bình thường, phanh) và ba thao tác theo chiều ngang (đổi làn trái, đổi làn phải, và giữ làn) mà xe mục tiêu có thể thực hiện ở giai đoạn dự đoán. Tổng cộng 6 chế độ quỹ đạo được thu được bằng cách hoán vị và kết hợp các loại thao tác trên, sau đó được biểu diễn trong one-hot encodings. Encoding của mỗi dạng riêng biệt được nối với ngữ cảnh cảnh quan, sau đó được sử dụng cho decoding quỹ đạo tương lai. Với 6 chế độ, sử dụng cùng ý tưởng để thực hiện dự đoán đa dạng và sẽ có nhiều cách di chuyển khác nhau.

4.2.3 Các chuẩn đánh giá và định hướng tiềm năng của dự đoán

Các chỉ số lỗi về sai biệt vị trí thường được sử dụng cho việc dự đoán quỹ đạo đơn dạng bao gồm: Final Displacement Error, Average Displacement Error, Root Mean Square Error.

Final Displacement Error (FDE): FDE tính toán khoảng cách theo cả hai chiều của không gian (hoàn toàn không phụ thuộc vào hướng). Chỉ số này tính toán khoảng cách giữa điểm cuối của quỹ đạo được dự đoán và điểm cuối của quỹ đạo thực tế. Điểm cuối của quỹ đạo liên quan đến ý định lái xe của người dùng, vì vậy việc đánh giá độ chính xác của dự đoán điểm cuối là quan trọng.

Trong đó:

* , biểu diễn điểm cuối dự đoán 2D của xe
* là tổng số bước thời gian trong đoạn dự đoán
* đại diện cho giá trị thực tế.

Average Displacement Error (ADE): là một chỉ số được sử dụng để đánh giá mức độ sai biệt về khoảng cách tổng thể giữa quỹ đạo được dự đoán và quỹ đạo thực tế:

Trong đó:, đại diện cho điểm dự đoán tại bước thời gian t. Các biến tương tự được sử dụng trong các công thức sau này.

Root Mean Square Error (RMSE): Đây là chỉ số tính trung bình của tổng các bình phương sai số từ một quỹ đạo dự đoán đến quỹ đạo thực tế qua toàn bộ các bước thời gian.

Các chỉ số đánh giá thường được sử dụng cho dự đoán quỹ đạo đa dạng bao gồm minFDEK, minADEK, brier\_minFDEK, và brier\_minADEK, trong đó K biểu thị số lượng chế độ tổng cộng trong đầu ra cuối cùng. minFDEK có nghĩa là FDE nhỏ nhất giữa K quỹ đạo dự đoán. Tương tự, minADEK có nghĩa là ADE nhỏ nhất giữa K quỹ đạo dự đoán, minADEK tương ứng với ADE của quỹ đạo dự đoán có giá trị FDE nhỏ nhất, nhằm đảm bảo tính nhất quán của quỹ đạo dự đoán tối ưu. brier\_minFDEK là một chỉ số được đề xuất, bao gồm việc thêm (1 - p)^2 vào minFDEK, trong đó p là xác suất dự đoán của quỹ đạo tối ưu với đường mục tiêu. Chỉ số này nhấn mạnh vào tính tin cậy của quỹ đạo dự đoán tối ưu dựa trên xác suất dự đoán. Tương tự như brier\_minFDEK, chỉ số này thêm (1 - p)^2 vào minADEK. Nó cũng nhấn mạnh tính tin cậy của quỹ đạo dự đoán tối ưu dựa trên xác suất dự đoán. Các chỉ số trên giúp đánh giá tính đa dạng và độ chính xác của các quỹ đạo dự đoán, cung cấp thông tin quan trọng cho việc đánh giá và so sánh hiệu suất của các mô hình dự đoán.

Khi có nhiều đối tượng mục tiêu cần được dự đoán, các chỉ số đánh giá tương ứng bao gồm ADE(NTV), FDE(NTV), minADE(NTV), và minFDE(NTV). Các chỉ số này mở rộng từ các chỉ số tương ứng trong các nhiệm vụ với một đối tượng mục tiêu, cụ thể đại diện cho giá trị trung bình dưới nhiều đối tượng mục tiêu.

4.2.4 Hàm chi phí

Ngoài việc đánh giá sự sai biệt về khoảng cách, ta cần phải đánh giá mức độ sai lệch giữa hướng xe được dự đoán và hướng thực tế của xe. Điều này đặc biệt quan trọng trong việc dự đoán chuyển động của các phương tiện, bởi vì một sai số nhỏ trong hướng di chuyển có thể dẫn đến việc lập kế hoạch đường đi không chính xác hoặc tăng nguy cơ va chạm. Bằng cách kết hợp 2 sai số này (sai số vị trí và sai số hướng), ta có thể đánh giá trạng thái chính xác của xe và điều chỉnh các quyết định dự đoán để cải thiện hiệu suất của hệ thống dự đoán chuyển động.

Trong đó:

* Total\_cost: Chi phí sai lệch tổng thể
* : Trọng số vị trí
* : Chi phí sai lệch vị trí
* : Trọng số hướng
* : Chi phí sai lệch hướng

Để đánh giá sự chênh lệch giữa vị trí và hướng của các xe, chúng ta cần nhận ra rằng chi phí sai lệch giữa hai yếu tố này là độc lập với nhau. Do đó, việc áp dụng một trọng số riêng cho vị trí (weight position) và một trọng số riêng cho hướng (weight yaw angle) là cần thiết để có thể mật thiết liên quan đến nhau. Đánh giá sự chênh lệch giữa vị trí và hướng của các xe là một bước quan trọng để cải thiện độ chính xác của các mô hình dự đoán trong ứng dụng thực tế. Việc áp dụng trọng số riêng cho vị trí và hướng, cũng như tính toán chi phí sai lệch tổng thể, giúp đánh giá hiệu quả của mô hình dự đoán và xác định những điểm cần cải thiện mà chúng ta mong muốn.

Ngoài việc sử dụng trọng số cho vị trí và góc, chúng ta cũng cần phải xem xét việc áp dụng một trọng số cho trạng thái dự đoán. Trong quá trình dự đoán, trạng thái của các xe tại thời điểm tiếp theo (t+1) thường được coi là quan trọng hơn so với các trạng thái sau đó như t+2, t+3 và tiếp theo. Điều này bởi vì khi dự đoán các trạng thái xa hơn, môi trường có thể thay đổi không đáng kể và do đó các trạng thái này có ít ảnh hưởng hơn đến quá trình dự đoán. Một điều quan trọng cần nhấn mạnh là trạng thái hiện tại chỉ có thể xem xét môi trường hiện tại để đưa ra dự đoán, vì vậy việc áp dụng trọng số cho trạng thái dự đoán sẽ giúp cân nhắc mức độ quan trọng của các thông tin trong quá trình dự đoán, từ đó cải thiện hiệu suất dự đoán trong các tình huống thực tế.

Trong đề tài này, giá trị trọng số trạng thái dự đoán được xác định là nghịch đảo của thứ tự của trạng thái dự đoán. Ý tưởng này giúp đảm bảo rằng các trạng thái ở các bậc trên của cây (các trạng thái được dự đoán gần hơn với trạng thái hiện tại) sẽ có giá trị trọng số lớn hơn so với các trạng thái ở các bậc dưới (các trạng thái được dự đoán xa hơn với trạng thái hiện tại).

Chỉ khi giá trị trong số của bậc dưới đủ lớn để có khả năng thay đổi đường đi của bậc trên, thì quyết định dựa trên bậc dưới mới được ưu tiên. Ví dụ, nếu trạng thái dự đoán thứ nhất (t+1) tại một nút có giá trị là 2 và trạng thái thứ hai có giá trị là 2 hoặc 3, thì trạng thái thứ nhất vẫn được coi trọng hơn. Tuy nhiên, nếu giá trị của trạng thái thứ hai là 10 (đủ lớn), thì quyết định sẽ phải xem xét lại vị trí, vì lúc này trạng thái thứ hai quan trọng hơn.

Điều này giúp đảm bảo rằng trong quá trình dự đoán, các quyết định dựa trên các trạng thái gần hơn với trạng thái hiện tại sẽ được ưu tiên, từ đó cải thiện độ chính xác và tính ổn định của mô hình dự đoán. Đồng thời, cũng tạo điều kiện cho các quyết định dựa trên các trạng thái xa hơn có thể được xem xét nếu chúng có ảnh hưởng đáng kể đến quyết định cuối cùng.

Ở hình 15, Mỗi node của cây nhị phân đều tương ứng với một đầu vào cụ thể, cụ thể là các thông tin về vận tốc và góc lái của xe. Đồng thời, mỗi node cũng được định vị tương ứng trên bản đồ, chính là vị trí dự kiến của xe khi thực hiện dự đoán dựa trên thông tin vận tốc và góc lái tương ứng.

Quá trình dự đoán có thể được mô tả như việc đi qua các node trong cây nhị phân, mỗi node đại diện cho một quyết định trong việc dự đoán trạng thái tiếp theo của xe. Các trọng số và thông tin được xem xét tại mỗi node sẽ ảnh hưởng đến quyết định cuối cùng được đưa ra.

Bằng cách này, cây nhị phân không chỉ thể hiện cấu trúc quyết định của mô hình mà còn mô phỏng sự tương ứng giữa các đầu vào và vị trí dự kiến trên bản đồ, tạo ra một cách tiếp cận mô hình hóa dự đoán xe trong môi trường đô thị một cách sinh động và linh hoạt.

Các giá trị được lưu trữ trong mỗi node của cây nhị phân thường được gọi là Total\_cost. Total\_cost càng lớn, thể hiện sự chênh lệch lớn hơn với đường mục tiêu (reference). Mỗi bậc của cây nhị phân tương ứng với thứ tự trạng thái dự đoán cụ thể. Khi tiến hành dự đoán, mô hình sẽ đi qua từng bậc của cây, tại mỗi bậc, Total\_cost sẽ được tính toán dựa trên thông tin vận tốc, góc lái và các yếu tố khác để đưa ra quyết định tiếp theo.

Do đó, cây nhị phân không chỉ cung cấp cấu trúc quyết định cho quá trình dự đoán mà còn giúp định rõ sự chênh lệch giữa quỹ đạo dự đoán và quỹ đạo mục tiêu thông qua giá trị Total\_cost, từ đó tối ưu hóa việc dự đoán trạng thái của xe trong môi trường đô thị.

Công thức Cost function:

Trong đó:

* i là thứ trạng thái dự đoán.
* N là số lần trạng thái dự đoán.

Dựa vào công thức, chúng ta có thể xác định được chi phí (Cost function) thấp nhất, và từ đó, chúng ta có thể đưa ra quyết định dựa trên chi phí đó. Việc lựa chọn số lần dự đoán trạng thái (state prediction) cũng là một phần quan trọng trong quá trình này.

Số lần dự đoán trạng thái cần phải được cân nhắc một cách cẩn thận. Nếu chúng ta quá ít dự đoán, chúng ta có thể bỏ lỡ những thông tin quan trọng và không đủ để đưa ra dự đoán chính xác về hành vi tương lai của xe. Ngược lại, nếu chúng ta dự đoán quá nhiều lần, điều này có thể dẫn đến sự phức tạp không cần thiết và tăng đáng kể chi phí tính toán.

Do đó, việc chọn số lần dự đoán trạng thái phải được cân nhắc kỹ lưỡng, đảm bảo rằng chúng ta có đủ thông tin để đưa ra dự đoán chính xác, đồng thời giảm thiểu chi phí tính toán và tối ưu hóa hiệu suất của mô hình.

4.5 Kết quả nghiên cứu

4.5.1 Kết luận

Thách thức của hệ thống này là sự kết hợp của mô hình Predictive Control Motion (MPC) và Kinematic Bicycle, cùng với việc áp dụng các thuật toán liên quan để lập kế hoạch tái xử lý với tần suất cao. Điều này đặt ra một gánh nặng lớn đối với tài nguyên tính toán của hệ thống.

Mô hình MPC yêu cầu tính toán chi tiết và cập nhật liên tục các dự đoán trạng thái tương lai của xe và môi trường xung quanh, đồng thời điều khiển xe theo kế hoạch tối ưu được tạo ra từ các dự đoán này. Mặt khác, mô hình Kinematic Bicycle cung cấp một cách tiếp cận đơn giản nhưng chính xác cho việc mô phỏng và dự đoán hành vi di chuyển của xe. Sự kết hợp này không chỉ tăng đáng kể khối lượng tính toán mà còn đặt ra thách thức về việc đảm bảo hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống, đặc biệt là khi đối mặt với môi trường đường phức tạp và các tình huống giao thông đa dạng.

A graph of blue bars

Description automatically generated

Hình 18: Biểu đồ phân bố thời gian thực hiện thuật toán

Biểu đồ cho thấy rằng đa số giải pháp đề tài mất khoảng 0,041 đến 0,044 giây để tính toán. Tuy nhiên, có một số trường hợp đặc biệt gặp khó khăn và tốn nhiều thời gian hơn để tính toán. Tổng quan, thời gian cần để xác định vận tốc và góc lái là tương đối ổn định và khả thi. Điều này cho thấy rằng giải pháp đề xuất có khả năng hoạt động hiệu quả trong hầu hết các tình huống, mặc dù có thể gặp phải một số trở ngại địa lý hoặc môi trường đặc biệt.

A graph of a graph with a line drawn on it

Description automatically generated

Hình 19: Trường hợp xe lệch đường mục tiêu

Hình 19 là kết quả mô phỏng của hệ thống được đề cập trong đề tài. Hình ảnh này cho thấy rằng xe đã bắt đầu di chuyển theo hướng chính xác của đường mục tiêu, đồng thời xác định rằng hệ thống đã hoạt động

A graph of a curve

Description automatically generated with medium confidence

Hình 20: Trường hợp khúc cua gấp khúc

Đây là tình huống mà hệ thống phải đối mặt với các khúc cua gấp khúc, nơi mà mô hình thường có xu hướng giảm tốc độ để điều chỉnh đường đi. Trong những đoạn đường này, hệ thống phải đảm bảo rằng xe tiếp tục giữ vận tốc an toàn nhưng vẫn có thể đi vào lại đường mục tiêu một cách nhanh chóng và hiệu quả.

A graph of a curve

Description automatically generated

Hình 21: Trường hợp khúc cua rộng

Trường hợp ôm cua rộng là một thử thách khác mà hệ thống phải đối mặt. Trong tình huống này, xe đã duy trì với đường đi của mình mà không bị lệch ra xa khỏi đường mục tiêu, đồng thời vẫn giữ được sự ổn định và an toàn.

A drawing of a boat

Description automatically generated

Hình 22: Trường hợp xe nhận ra vật cản

Trong trường hợp tránh vật cản, trước khi xe phát hiện vật cản, nó có thể đang di chuyển với tốc độ nhanh. Khi phát hiện vật cản và cần phải thay đổi đường đi đột ngột, xe sẽ thay đổi hướng di chuyển để tránh vật cản và hình thành một đường đi mới nhưng có xu hướng lệch. Để đảm bảo an toàn, xe sẽ giảm tốc độ khi ngày càng gần vật cản, giúp tránh xa tình huống va đập và bảo vệ an toàn cho xe. Khi đã vượt qua vật cản, xe sẽ tiếp tục di chuyển theo hướng ban đầu với tốc độ bình thường, trở lại vào quỹ đạo dự kiến.

4.5.2 Hướng phát triển

Hướng phát triển của nhóm là tiếp tục nghiên cứu và phát triển để hoàn thiện các cấu hình của xe, bao gồm các yếu tố như cân nặng, độ ma sát, lực đàn hồi, và các thông số khác. Các thông số này đóng vai trò quan trọng trong việc xác định hành vi và khả năng xử lý của xe, đặc biệt trong môi trường thực tế.

Một phần của sự phức tạp trong việc xử lý ảnh của xe đến từ việc chưa hoàn thiện các cấu hình này, khiến cho mô hình dự đoán không thể đạt được hiệu suất tối ưu. Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu và thực nghiệm trên thực tế sẽ giúp nhóm cải thiện và điều chỉnh lại mô hình dự đoán sao cho phù hợp với mọi hoàn cảnh cụ thể và số lần dự đoán khác nhau.

Một hướng đi tiếp theo có thể là tối ưu hóa các thuật toán và mô hình dự đoán để giảm thiểu sự phức tạp tính toán và tăng cường khả năng dự đoán chính xác trong mọi tình huống. Đồng thời, việc tích hợp các dữ liệu và thông tin mới, như dữ liệu từ các cảm biến mới hay các thông tin môi trường thực tế, cũng là một hướng phát triển quan trọng để cải thiện hiệu suất và độ chính xác của hệ thống.

5. Tên sản phẩm: NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Với kết quả đạt được mở ra hướng tiếp cận mới cho việc ứng dụng trong xe tự hành. Thuật toán và phương pháp được phát triển có thể tích hợp vào hệ thống xe tự hành thực tế để giúp xe tự hành định hình và điều hướng quỹ đạo di chuyển một cách an toàn và hiệu quả trong môi trường đường phố thực tế. Việc áp dụng các phương pháp tiên tiến này sẽ cải thiện khả năng xử lý và độ tin cậy của hệ thống xe tự hành.

Đối với các thuật toán tìm đường đi tránh chướng ngại vật có thể giúp cải thiện an toàn giao thông bằng cách giảm thiểu nguy cơ va chạm hoặc xảy ra tai nạn trong quá trình vận hành xe tự hành trên đường. Nghiên cứu này cung cấp một cơ sở vững chắc cho việc phát triển và nghiên cứu thêm về các thuật toán và phương pháp liên quan đến điều hướng và điều khiển xe tự hành trong tương lai.

Nhóm sẽ chuyển giao phần phát triển lần này, nhằm tạo ra một tài liệu tham khảo về sự tương quan giữa các mô hình và thuật toán với nhau. Điều này giúp các nhà nghiên cứu và những người quan tâm có thể hiểu rõ hơn về cách mà các mô hình và thuật toán tương tác và ảnh hưởng lẫn nhau trong việc giải quyết các vấn đề liên quan đến xe tự hành.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính

A diagram of a model

Description automatically generated

Hình 1:Hệ thống thực hiện hành vi

A diagram of a process model

Description automatically generated

Hình 2: Quy trình thực hiện nhận và phản hồi của hệ thống

A diagram of a car

Description automatically generated

Hình 3: Các thông số cần thiết Bicycle Model

A diagram of a car driving

Description automatically generated

Hình 4: Đường mục tiêu muốn hướng tới

A road with a yellow wheel and red line

Description automatically generated

Hình 5: Hình ảnh thực tế và hình ảnh dự đoán của xe

A white and blue vehicle with blue wheels

Description automatically generated

Hình 6: Xe thực tế áp dụng trong mô phỏng

A diagram of a car

Description automatically generated

Hình 7: Thiết bị được gắn trên xe

A diagram of a triangle with lines and circles

Description automatically generated

Hình 8: Chi tiết cách tránh vật cản

A diagram of a cell phone

Description automatically generated

Hình 11: Các dự đoán chuyển động của xe

A top view of cars driving on a road

Description automatically generated

Hình 12: Dự đoán đường đi của xe

A car with a red tail

Description automatically generated

Hình 13: Chế độ quỹ đạo của xe hướng tới

A diagram of a car driving

Description automatically generated

Hình 14: Thông số tính toán hàm chi phí

A diagram of a state

Description automatically generated

Hình 15: Sơ đồ cây thể hiện trạng thái dự đoán

A diagram of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Hình 16: Hình ảnh tương quan góc lái với hàm chi phí

A traffic light and a fence

Description automatically generated

Hình 17: Hậu quả của việc quá nhiều số lần dự đoán

|  |  |
| --- | --- |
| *Ngày 01 tháng 02 năm 2024.* | *Ngày 01 tháng 02 năm 2024* |

|  |  |
| --- | --- |
| *Cơ quan Chủ trì*  *(ký, họ và tên, đóng dấu)* | *Chủ nhiệm đề tài*  *(ký, họ và tên)*    Phạm Văn Mạnh |

|  |  |
| --- | --- |
| ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM | CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM |
| TRƯỜNG ĐẠI HỌCCÔNG NGHỆ THÔNG TIN | Độc Lập - Tự do - Hạnh Phúc  *TP.HCM, ngày 01 tháng 02 năm 2024* |

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

- Mã số: 20521595

- Chủ nhiệm: Phạm Văn Mạnh

- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Công nghệ Thông tin.

- Thời gian thực hiện: 6 tháng

2. Mục tiêu:

Đề tài tập trung tìm hiểu, nghiên cứu, thiết kế và phát triển thuật toán sử dụng phương pháp “Path Following Line” nhằm tạo ra đường đi tránh vật cản cho xe tự hành. Điều này giúp cho xe có thể di chuyển một cách an toàn và hiệu quả trong môi trường thực tế. Ngoài ra, thuật toán cũng có thể được tối ưu hóa để đảm bảo tốc độ di chuyển và độ chính xác của xe tự hành trong quá trình thực hiện nhiệm vụ. Thuật toán sẽ được thực thi để vẽ ra một đường đi phù hợp (mô phỏng như hình bên dưới) với những mục tiêu sau:

* Sử dụng camera, cảm biến khoảng cách và GPS để phát hiện vật cản
* Đề xuất ra đường đi tối ưu để tránh vật cản
* Xây dựng mô hình để xe di chuyển theo đường đi tối ưu.
* Áp dụng điều khiển hệ thống phanh để tránh vật cản

3. Tính mới và sáng tạo:

Ở bài nghiên cứu này, sẽ phát triển thuật toán có khả năng tự điều chỉnh dựa trên điều kiện giao thông làm thay đổi đường đi. Điều này có thể bao gồm việc sử dụng học máy để phân tích dữ liệu từ các cảm biến và điều chỉnh đường đi dựa trên thông tin mới nhận được. Hơn nữa, tích hợp hệ thống dự đoán hành vi của người tham gia giao thông sẽ giúp thuật toán đưa ra quyết định điều hướng phù hợp và an toàn khi gặp các tình huống bất ngờ và nguy hiểm. Việc áp dụng thuật toán FSTP (Free Segments and Turning Points) và phương trình tiếp tuyến của đường tròn tại 1 điểm ngoài đường tròn sẽ cho ra 2 phương trình đường thẳng tiếp tuyến tương ứng với 2 quyết định rẻ trái hoặc rẻ phải để tránh vật cản:

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

Nghiên cứu này tập trung vào vai trò quan trọng cách kết hợp giữa mô hình Bicycle Model và thuật toán Free Segment and Turning Point để đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình di chuyển của phương tiện.

Reference trong hệ thống tự lái xe cung cấp mục tiêu hoặc trạng thái mong muốn, bao gồm vị trí, hướng di chuyển và tốc độ mong muốn của xe. Sự kết hợp giữa reference và thông tin về vị trí và hướng di chuyển hiện tại của xe cho phép tính toán vận tốc và góc lái cần thiết để đạt được mục tiêu mong muốn một cách an toàn và hiệu quả.

Mô hình Bicycle Model giải quyết vấn đề điều khiển tối ưu trong điều kiện có ràng buộc đầu vào và trạng thái, giúp hệ thống tự lái xe điều chỉnh hành vi di chuyển dựa trên các dự đoán và đầu vào hiện tại.

Thuật toán Free Segment and Turning Point được sử dụng để xác định các điểm quan trọng trên đường đi và tạo ra các đoạn đường tự do giữa các điểm này. Khi có vật cản xuất hiện, thuật toán này sẽ điều chỉnh đường đi để tránh vật cản và đảm bảo an toàn cho phương tiện.

Kết hợp giữa mô hình Bicycle và thuật toán Free Segment and Turning Point giúp phương tiện tự lái thích nghi với môi trường xung quanh thông qua việc cập nhật liên tục các trạng thái và điều chỉnh đường đi một cách linh hoạt và liên tục, đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình di chuyển.

5. Tên sản phẩm: NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN TÌM ĐƯỜNG ĐI TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT CHO ĐIỀU HƯỚNG XE TỰ HÀNH

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

Với kết quả đạt được mở ra hướng tiếp cận mới cho việc ứng dụng trong xe tự hành. Thuật toán và phương pháp được phát triển có thể tích hợp vào hệ thống xe tự hành thực tế để giúp xe tự hành định hình và điều hướng quỹ đạo di chuyển một cách an toàn và hiệu quả trong môi trường đường phố thực tế. Việc áp dụng các phương pháp tiên tiến này sẽ cải thiện khả năng xử lý và độ tin cậy của hệ thống xe tự hành.

Đối với các thuật toán tìm đường đi tránh chướng ngại vật có thể giúp cải thiện an toàn giao thông bằng cách giảm thiểu nguy cơ va chạm hoặc xảy ra tai nạn trong quá trình vận hành xe tự hành trên đường. Nghiên cứu này cung cấp một cơ sở vững chắc cho việc phát triển và nghiên cứu thêm về các thuật toán và phương pháp liên quan đến điều hướng và điều khiển xe tự hành trong tương lai.

Nhóm sẽ chuyển giao phần phát triển lần này, nhằm tạo ra một tài liệu tham khảo về sự tương quan giữa các mô hình và thuật toán với nhau. Điều này giúp các nhà nghiên cứu và những người quan tâm có thể hiểu rõ hơn về cách mà các mô hình và thuật toán tương tác và ảnh hưởng lẫn nhau trong việc giải quyết các vấn đề liên quan đến xe tự hành.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính

A diagram of a model

Description automatically generated

Hình 1:Hệ thống thực hiện hành vi

A diagram of a process model

Description automatically generated

Hình 2: Quy trình thực hiện nhận và phản hồi của hệ thống

A diagram of a car

Description automatically generated

Hình 3: Các thông số cần thiết Bicycle Model

A diagram of a triangle with lines and circles

Description automatically generated

Hình 4: Chi tiết cách tránh vật cản

|  |  |
| --- | --- |
| Cơ quan Chủ trì  *(ký, họ và tên, đóng dấu)* | Chủ nhiệm đề tài  *(ký, họ và tên)* |
|  | A handwritten signature on a white background  Description automatically generated |

Phạm Minh Quân Phạm Văn Mạnh