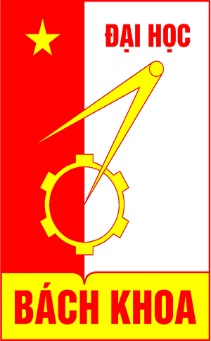
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

**THIẾT KẾ HỆ THỐNG**

**ĐIỀU KHIỂN BÁM QUỸ ĐẠO CHO XE TỰ HÀNH CÓ XÉT ĐẾN RÀNG BUỘC TỐC ĐỘ**

**NGUYỄN HỒNG HẢI**

hai.nh173822@sis.hust.edu.vn

**TRẦN VIỆT HOÀNG**

hoang.tv173898@sis.hust.edu.vn

**Ngành KT Điều khiển & Tự động hóa**

|  |  |
| --- | --- |
| **Giảng viên hướng dẫn:** | TS. Đào Phương Nam  Chữ ký của GVHD |
| **Khoa:** | Tự động hóa |
| **Trường:** | Điện – Điện tử |

**HÀ NỘI, 8/2022**

|  |  |
| --- | --- |
| BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  **TRƯỜNG ĐH BÁCH KHOA HÀ NỘI** | **CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**  **Độc lập – Tự do - Hạnh phúc** |

**NHIỆM VỤ**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**

Họ và tên sinh viên: Nguyễn Hồng Hải

Khóa: 62 Trường: Điện- Điện tử Ngành: KT ĐK &TĐH

1. *Tên đề tài:*

Thiết kế hệ thống điều khiển bám quỹ đạo cho xe tự hành có xét đến ràng buộc tốc độ.

1. *Nội dung đề tài:*

Thiết kế hệ thống điều khiển bám quỹ đạo cho xe tự hành có xét đến ràng buộc tốc độ. Sử dụng hai phương pháp điều khiển là Model-Based control và Adaptive Neural Network. Sử dụng các kiến thức đã học để chứng minh tính ổn định và hội tụ của thuật toán điều khiển. Mô phỏng kiểm chứng và đánh giá chất lượng của các bộ điều khiển trên phần mềm Matlab/Simulink.

Nguyễn Hồng Hải: Chứng minh ổn định của 2 thuật toán, mô phỏng kiếm chứng kết quả của thuật toán ANN, tham gia hỗ trợ thiết kế thuật toán Model-based

Trần Việt Hoàng: Chứng minh ổn định của 2 thuật toán, mô phỏng kiểm chứng kết quả của thuật toán model-based, tham gia thiết kế thuật toán ANN

1. *Thời gian giao đề tài:*.............................................
2. *Thời gian hoàn thành:*……………………………

*Ngày...... tháng …...... năm 2022*

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

**Lời cảm ơn**

Trong những lời đầu tiên của báo cáo đồ án tốt nghiệp này, chúng em muốn gửi lời cảm ơn và biết ơn chân thành nhất của mình tới tất cả những người đã hỗ trợ, giúp đỡ chúng em cả về kiến thức và tinh thần trong quá trình thực hiện đồ án.

Trước hết chúng em xin chân thành cảm ơn thầy TS. Đào Phương Nam – khoa Tự động hóa, người đã trực tiếp hướng dẫn, nhận xét, tận tình chỉ bảo, giúp đỡ chúng em trong suốt quá trình làm đồ án, để chúng em có thể hoàn thiện đồ án một cách tốt nhất.

Xin chân thành cảm ơn tới tất cả thầy cô đã nhiệt tình dạy bảo, truyền đạt kiến thức cho chúng em trong suốt thời gian học tập dưới mái trường Điện – Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà Nội, đặc biệt với các thầy cô tại khoa Tự Động Hóa, ngành Điều khiển tự động, các thầy cô đã luôn quan tâm, định hướng và tạo điều kiện thuận lợi cho chúng em học tập, nghiên cứu và thực hiện đồ án.

Em đã cố gắng để hoàn thiện đồ án một cách tốt nhất, nhưng do sự hạn chế về thời gian cũng như kiến thức nên không thể tránh khỏi những thiếu sót, rất mong sự đóng góp của các thầy cô và các bạn.

Xin chân thành cảm ơn!

**Tóm tắt nội dung đồ án**

Qua đồ án tốt nghiệp này, em đã trình bày hai vấn đề nghiên cứu: điều khiển bám quỹ đạo với thuật toán dựa trên mô hình và điều khiển bám quỹ đạo với thuật toán thích nghi sử dụng NN. Để có được kết quả nghiên cứu này, em đã tham khảo những công trình nghiên cứu trước đây để kế thừa và tiếp tục phát triển giải thuật. Để kiểm nghiệm lại tính đúng đắn của thuật toán thì em đã dùng phần mềm Matlab phiên bản 2020b để mô phỏng.

Dựa trên kết quả nghiên cứu và mô phỏng kiểm nghiệm thì đồ án đã đạt được mục tiêu mà sinh viên đề ra là: thuật toán dựa trên mô hình giúp đối tượng bám theo giá trị đặt và thuật toán ANN giúp đối tượng bám theo quỹ đạo đặt.

Sinh viên thực hiện

Ký và ghi rõ họ tên

**MỤC LỤC**

[CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU 1](#_Toc110984350)

[1.1 Tổng quan 1](#_Toc110984351)

[1.2 Mục tiêu nghiên cứu 2](#_Toc110984352)

[1.3 Nhiệm vụ nghiên cứu 2](#_Toc110984353)

[1.4 Phương pháp nghiên cứu 3](#_Toc110984354)

[1.5 Bố cục đồ án 3](#_Toc110984355)

[CHƯƠNG 2. TỔNG QUAN VỀ XE TỰ HÀNH 4](#_Toc110984356)

[2.1 Giới thiệu về xe tự hành 4](#_Toc110984357)

[2.1.1 Khái niệm về xe tự hành 4](#_Toc110984358)

[2.1.2 Phân loại robot tự hành 4](#_Toc110984359)

[2.2 Mô hình động lực học của xe tự hành 6](#_Toc110984360)

[2.3 Mô hình động học và động lực học của xe tự hành ba bánh 7](#_Toc110984361)

[2.4 Sử dụng vận tốc phụ trợ đầu vào trong điều khiển bám quỹ đạo 11](#_Toc110984362)

[CHƯƠNG 3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT 13](#_Toc110984363)

[3.1 Lý thuyết ổn định Lyapunov 13](#_Toc110984364)

[3.1.1 Xác định điểm cân bằng và làm việc 13](#_Toc110984365)

[3.1.2 Định nghĩa ổn định Lyapunov 13](#_Toc110984366)

[3.1.3 Tiêu chuẩn Lyapunov 14](#_Toc110984367)

[3.1.4 Định nghĩa hàm BLF 16](#_Toc110984368)

[3.2 Mạng nơ ron nhân tạo 16](#_Toc110984369)

[3.2.1 Khái niệm của mạng nơ ron 16](#_Toc110984370)

[3.2.2 Kiến trúc mạng nơ ron 17](#_Toc110984371)

[3.2.3 Ứng dụng của mạng nơ ron 17](#_Toc110984372)

[3.2.4 Nơ ron nhiều đầu vào 18](#_Toc110984373)

[3.2.5 Mạng xuyên tâm ( Radial Basis Fucntion) 19](#_Toc110984374)

[CHƯƠNG 4. BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA XE TỰ HÀNH 21](#_Toc110984375)

[4.1 Các định nghĩa 21](#_Toc110984376)

[4.2 Thiết kế bộ điều khiển dựa trên mô hình toán học của xe tự hành 21](#_Toc110984377)

[4.3 Phân tích tính ổn định luật điều khiển dựa trên Model-Base 23](#_Toc110984378)

[4.4 Mô phỏng cho đối tượng WMR 25](#_Toc110984379)

[CHƯƠNG 5. BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON 30](#_Toc110984380)

[5.1 Thiết kế luật điều khiển thích nghi sử dụng NN 30](#_Toc110984381)

[5.2 Phân tích tính ổn định luật điều khiển dựa trên Neural Network 30](#_Toc110984382)

[5.3 Mô phỏng cho đối tượng WMRs 35](#_Toc110984383)

[CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN 42](#_Toc110984384)

[6.1 Kết luận 42](#_Toc110984385)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 43](#_Toc110984386)

[PHỤ LỤC 46](#_Toc110984387)

[Phụ lục 1: Chứng minh tính đúng đắn của ma trận chuyển 46](#_Toc110984388)

[Phụ lục 2: Chứng minh tính đúng đắn của công thức sai lệch sử dụng ma trận chuyển 48](#_Toc110984389)

[Phụ lục 3: Chứng minh tính ổn định của bài toán khi sử dụng vận tốc phụ 49](#_Toc110984390)

[Phụ lục 4: Sơ đồ mô phỏng của phương pháp Model-Based 51](#_Toc110984391)

[Phụ lục 5: Sơ đồ mô phỏng của phương pháp Adaptive NN 52](#_Toc110984392)

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

[Hình 2.1 Robot tự hành 4 chân 5](#_Toc110984393)

[Hình 2.2 Robot tự hành 6 chân 5](#_Toc110984394)

[Hình 2.3 Robot tự hành 3 bánh 6](#_Toc110984395)

[Hình 2.4 Tọa độ của hệ thống xe tự hành 8](#_Toc110984396)

[Hình 2.5 Sơ đồ điều khiển nối tầng của WMR 11](#_Toc110984397)

[Hình 3.1 Minh họa khái niệm ổn định Lyapunov 14](#_Toc110984398)

[Hình 3.2 Mô hình ming họa hàm BLF đối xứng (trái) và không đối xứng (phải) 16](#_Toc110984399)

[Hình 3.3 Mạng nơ ron nhân tạo dựa theo mô phỏng nơ ron hệ thần kinh của sinh vật 16](#_Toc110984400)

[Hình 3.4 Kiến trúc NN 17](#_Toc110984401)

[Hình 3.5 Sơ đồ khối nơ ron nhân tạo 18](#_Toc110984402)

[Hình 3.6 Sơ đồ khối một nơ ron nhiều đầu vào 18](#_Toc110984403)

[Hình 3.7 Hàm Gaussmf 20](#_Toc110984404)

[Hình 3.8 Mạng xuyên tâm RBF 20](#_Toc110984405)

[Hình 4.1 Quỹ đạo của xe tự hành 26](#_Toc110984406)

[Hình 4.2 Giá trị hàm Lyapunov 26](#_Toc110984407)

[Hình 4.3 Vận tốc dài của WMR 27](#_Toc110984408)

[Hình 4.4 Vận tốc góc của WMR 27](#_Toc110984409)

[Hình 4.5 Sai lệch giữa xref và x 27](#_Toc110984410)

[Hình 4.6 Sai lệch giữa yref và y 28](#_Toc110984411)

[Hình 4.7 Sai lệch giữa phiref và phi 28](#_Toc110984412)

[Hình 4.8 Tín hiệu điều khiển của WMR 28](#_Toc110984413)

[Hình 5.1 Sơ đồ khối của bộ điều khiển được đề xuất 30](#_Toc110984414)

[Hình 5.2 Quỹ đạo của WMR 36](#_Toc110984415)

[Hình 5.3 Hàm Lyapunov 36](#_Toc110984416)

[Hình 5.4 Vận tốc dài WMR 37](#_Toc110984417)

[Hình 5.5 Vận tốc góc của WMR 37](#_Toc110984418)

[Hình 5.6 Sai lệch giữa xref và x 38](#_Toc110984419)

[Hình 5.7 Sai lệch giữa yref và y 38](#_Toc110984420)

[Hình 5.8 Sai lệch giữa phiref và phi 39](#_Toc110984421)

[Hình 5.9 Tín hiệu điều khiển của WMR 39](#_Toc110984422)

[Hình 5.10 Chuẩn của trọng số thứ nhất của lớp đầu ra 39](#_Toc110984423)

[Hình 5.11 Chuẩn của trọng số thứ hai của lớp đầu ra 40](#_Toc110984424)

[Hình 5.12 Sai lệch xref-x của 2 phương pháp điều khiển 40](#_Toc110984425)

[Hình 5.13 Sai lệch yref-y của 2 phương pháp điều khiển 41](#_Toc110984426)

[Hình 5.14 Sai lệch phiref-phi của 2 phương pháp điều khiển 41](#_Toc110984427)

[Hình 6.0.1 Sơ đồ khối mô phỏng theo phương pháp Model Based. 51](#_Toc110984428)

[Hình 6.0.2 Bộ điều khiển Model-Based 51](#_Toc110984429)

[Hình 6.0.3 Sơ đồ khối bộ điều khiển Adaptive Neural Network 52](#_Toc110984430)

[Hình 6.0.4 Bộ điều khiển Adaptive Neural Network 52](#_Toc110984431)

**DANH MỤC BẢNG BIỂU**

[Bảng 1 Ý nghĩa của các ma trận trong mô hình động lực học 7](#_Toc110984432)

**DANH MỤC TỪ NGỮ VIẾT TẮT**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Từ viết tắt | Thuật ngữ tiếng anh | Giải thích |
| WMR | Wheeled Mobile Robot | Xe tự hành |
| NN | Neural Network | Mạng nơ ron |
| BLF | Barrier Lyapunov Function | Hàm rào cản Lyapunov |
| RBF | Radial Basis Function | Hàm cơ sở xuyên tâm |
| ANN | Adaptive Neural Network | Mạng nơ ron thích nghi |
| MB | Model-Based | Thuật toán dựa trên mô hình |

# GIỚI THIỆU

## Tổng quan

Ngày nay, vấn đề điều khiển hệ robot được nghiên cứu một cách sâu rộng trong lĩnh vực điều khiển và tự động hóa. Là một khía cạnh quan trọng của robot di động [1], [2], [3], WMR đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong rất nhiều lĩnh vực, như là ngành công nghiệp dịch vụ, ngành công nghiệp, ngành công nghiệp quốc phòng, nông nghiệp,… [4], [5], [6].

WMR là một lớp điển hình của hệ thống nonholonomic [7], [8]. Dựa trên giả định rằng WMR không trượt bánh xe trong khi chuyển động, điều đó tương đương về mặt toán học với một tập hợp các ràng buộc vi phân bậc nhất không thể tích phân được, những ràng buộc nonholonomic có thể được hình dung trực quan trong một tình huống mà WMR không thể dịch ngang, và vận tốc theo hướng đó không thể tích phân được [9]. Theo định lý Brockett [10], những hệ thống nonholonomic không thể được ổn định chỉ thông qua các luật điều khiển phản hồi bất biến theo thời gian trơn [11]. Do đó, đây là một nhiệm vụ đầy thách thức để phát triển một bộ điều khiển thích hợp để đạt được sự ổn định và bám quỹ đạo của WMR nonholonomic [12].

Trong những hệ thống WMR, tốc độ của các bánh xe và vận tốc góc tối đa luôn luôn bị giới hạn do sự cân nhắc về yếu tố an toàn [13]. Nếu phương pháp điều khiển được thiết kế mà không có sự cân nhắc về các ràng buộc, hệ thống sẽ hoạt động kém và thậm chí gây mất ổn định [14]. Rất nhiều cố gắng đã được dành cho việc điều khiển các robot di động với ràng buộc vận tốc. Trong [15], một sơ đồ điều khiển trượt đã được đề xuất để ổn định robot di động trong khi tuân thủ các ràng buộc vật lý với các biến cấu hình của nó. Thiết kế của những bộ điều khiển đã phù hợp với các hạn chế trên miền điều kiện ban đầu. Trong [16], một sơ đồ phối hợp chuẩn về ràng buộc giới hạn tốc độ vật lý tối thiểu cho WMR có gắn tay máy được đề xuất. Một sơ đồ như vậy không chỉ có thể phối hợp giữa nền tảng WMR và tay máy để hoàn thành nhiệm vụ khâu chấp hành với chỉ số tối ưu, mà còn xem xét tới các giới hạn vật lý của robot. Tuy nhiên, trong các công trình trên, hệ thống được xem xét với các thông số là đã biết, điều đó gần như là không thể có được một cách chính xác ở trong thực tế. Ví dụ, rất khó có được hệ số ma sát và hệ số giảm chấn do mặt được không được chắc chắn, và nhiều tham số hệ thống đều không rõ bởi vì sự thiếu vắng của các đặc điểm kỹ thuật chi tiết.

Trong những năm gần đây, sự nghiên cứu về NN dự trên sự theo dõi các thuật toán cho WMR với việc tham số hệ thống là chưa rõ đã thu hút sự chú ý từ nhiều nhà nghiên cứu. NN có thể ước lượng được các hàm phi tuyến với độ chính xác tùy ý dưới một số miền nhất định [17] [18] [19] [20], và đã được sử dụng rộng rãi để giải quyết những vấn đề điều khiển của những hệ thống phi tuyến không chắc chắn [21] [22] [23] [24] [25]. Nhiều nỗ lực đã được thực hiện để giải quyết vấn đề bám của WMR với các tham số hệ thống chưa biết. Trong [26], một phương pháp NN cho vấn đề bám của WMR đã được đề xuất. Những khả năng xấp xỉ phi tuyến của các NN đã được sử dụng để cải tiến chất lượng điều khiển của những sơ đồ điều khiển phản hồi động học cổ điển. Trong [27], một NN thích nghi dựa trên bám thuật toán điều khiển đã được đề xuất cho hệ thống WMR với các ràng buộc toàn bộ trạng thái. Nếu các tham số hệ thống đều được chọn một cách đúng đắn, sơ đồ đề xuất có thể bảo đảm giới hạn cuối cùng thống nhất với tất cả tín hiệu trong hệ thống WMR, và sai lệch bám hội tụ đến một tập bị chặn chặt của 0.

Tuy nhiên, chỉ có một số ít tài liệu xem xét tới hệ thống động lực học của hệ thống WMR với các ràng buộc vận tốc cho bám quỹ đạo vị trí dựa trên NN. Các ràng buộc cho vận tốc cần được xem xét trong thiết kế các luật thích nghi NN và các hàm Lyapunov, thứ sẽ đem đến nhiều thách thức bởi vì tác động của các ràng buộc vận tốc đến các luật thích nghi NN. Trong [27], hệ thống được xem xét với toàn bộ trạng thái ràng buộc tới từ giới hạn tốc độ tiến về phía trước của các bánh xe và vận tốc góc lái. Kể từ khi bộ điều khiển trong [27] được thiết kế để bám theo vận tốc, sự suy giảm của các sai lệch vị trí đã không được xem xét. Khi sai lệch vị trí ban đầu lớn, để giảm các sai lệch vị trí, một vận tốc phụ trợ đầu vào có lẽ tốt hơn các giá trị ràng buộc. Luật điều khiển trong [27] không thể đối phó với trường hợp này.

## Mục tiêu nghiên cứu

Trên cơ sở ưu và nhược điểm của thuật toán điều khiển dựa trên mô hình WMR và thuật toán điều khiển thích nghi sử dụng NN được giới thiệu, mục tiêu chính trong đồ án này là phân tích và thiết kế thuật toán điều khiển bám quỹ đạo có xét đến ràng buộc tốc độ cho WMR. Thuật toán điều khiển đáp ứng các yêu cầu:

1. Bảo đảm được hệ kín ổn định với ràng buộc tốc độ
2. Quỹ đạo của WMR thỏa mãn được quỹ đạo đặt
3. Thuật toán điều khiển càng đơn giản càng tốt

Các mục tiêu trên nhằm cải thiện hơn nữa chất lượng điều khiển, tăng tốc độ hội tụ, tăng tính linh hoạt trong thiết kế.

## Nhiệm vụ nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, trong khuôn khổ đồ án, một số nhiệm vụ cấp thiết được đặt ra như sau:

1. Bộ điều khiển đề xuất được thiết kế dựa trên hàm BLF nhằm ngăn chặn việc vi phạm các ràng buộc về vận tốc.
2. Phương pháp điều khiển được đề xuất có thể đối phó với trường hợp vận tốc đầu vào phụ lớn hơn các ràng buộc.
3. Kiểm tra được tính ổn định của các thuật toán dựa trên mô hình của WMR các nội dung: Mô phỏng, so sánh và đánh giá chất lượng của bộ điều khiển MB.
4. Kế thừa kết quả của phương pháp thiết kế điều khiển dựa trên mô hình của WMR để áp dụng vào phương pháp thiết kế điều khiển bám quỹ đạo sử dụng NN. Từ đó mô phỏng, so sánh và đánh giá chất lượng của bộ điều khiển ANN so với bộ điều khiển MB.

## Phương pháp nghiên cứu

Trên cơ sở lý thuyết về ổn định Lyapunov và mạng nơ ron, tiếp cận đến những kết quả công bố mới nhất về các thuật toán cho bài toán điều khiển bám quỹ đạo cho WMR có xét đến ràng buộc tốc độ, đồ án phân tích ưu nhược điểm của từng thuật toán, tiếp tục nghiên cứu và phát triển nhằm khắc phục các hạn chế còn tồn tại. Phương pháp nghiên cứu trong đồ án là:

* Nghiên cứu tài liệu tham khảo có liên quan, phân tích và thiết kế hệ thống tính toán và chứng minh ổn định và hội tụ bằng cơ sở toán học, mô phỏng nhằm mục đích kiểm tra tính hiệu quả của lý thuyết
* Mô phỏng bằng phần mềm Matlab/Simulink
* So sánh kết quả đạt được từ các bộ điều khiển thiết kế.

## Bố cục đồ án

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Tổng quan về xe tự hành

Chương 3: Cơ sở lý thuyết

Chương 4: Bộ điều khiển dựa trên mô hình xe tự hành

Chương 5: Bộ điều khiển thích nghi sử dụng mạng nơ ron

Chương 6: Kết luận

# TỔNG QUAN VỀ XE TỰ HÀNH

## Giới thiệu về xe tự hành

### Khái niệm về xe tự hành

Xe tự hành là loại robot di động có khả năng tự hoạt động, thực thi nhiệm vụ mà không cần sự can thiệp của con người. Với những cảm biến, chúng có khả năng nhận biết về môi trường xung quanh. WMR càng ngày càng có nhiều ứng dụng hơn trong ngành công nghiệp nói chung, ngành thương mại, y tế và trong khoa học và thực tế. Trên thị trường, WMR ngày càng được đa dạng hơn, tùy vào mỗi lĩnh vực áp dụng mà chúng có thể có nhiều loại khác nhau như robot sơn, robot cắt cỏ, robot thám hiểm, robot lau nhà, robot làm việc ngoài vũ trụ,… Nhu cầu của con người càng ngày càng tăng cao, họ mong muốn chất lượng cuộc sống được cải thiện tốt hơn, và vì thế robot được đưa vào và càng ngày càng phát triển, đưa ra các thách thức mới cho các nhà nghiên cứu khoa học.

Các nhà nghiên cứu đặt ra các câu hỏi làm thế nào để robot tự hành có thể hoạt động, nhận biết môi trường, và thực thi các nhiệm vụ được đề ra. Và vấn đề đầu tiên cần xét đến đó là di chuyển. Robot tự hành nên di chuyển thế nào và cơ cấu di chuyển ra làm sao để có thể tối ưu hóa được yêu cầu. Điều hướng là vấn đề đầu tiên và cơ bản nhất trong nghiên cứu và chế tạo robot tự hành. Về hướng nghiên cứu, thì sẽ có 2 hướng nghiên cứu khác nhau:

* Hướng thứ nhất là nghiên cứu về Robot tự hành có khả năng điều hướng ở tốc độ cao nhờ thông tin thu được từ cảm biến, đây là loại robot có khả năng hoạt động ở mối trường trong phòng cũng như môi trường bên ngoài. Loại robot này yêu cầu khả năng tính toán đồ sộ và được trang bị cảm biến có độ nhạy cao, dải đo lớn để có thể điều khiển robot di chuyển ở tốc độ cao, trong những môi trường có địa hình phức tạp.
* Hướng thứ hai: nhằm giải quyết các vấn đề về các loại robot tự hành chỉ dùng để hoạt động trong môi trường trong phòng. Loại robot tự hành này có kết cấu đơn giản hơn loại trên, thực hiện những nhiệm vụ đơn giản.

Về mặt dẫn hướng cho robot tự hành được chia làm hai loại: bài toán toàn cục (global) và bài toán cục bộ ( local). Ở bài toán toàn cục, môi trường làm việc của robot hoàn toàn xác định, đường đi và vật cản là hoàn toàn biết trước. Ở bài toán cục bộ, môi trường hoạt động của robot là chưa biết trước hoặc chỉ biết một phần. Các cảm biến và thiết bị định vị cho phép robot xác định được vật cản, vị trí của nó trong môi trường giúp nó đi tới được mục tiêu.

### Phân loại robot tự hành

Robot tự hành được chia làm 2 loại chính đó là loại robot tự hành chuyển động bằng chân và robot tự hành chuyển động bằng bánh. Ngoài ra một số loại robot hoạt động trong các môi trường đặc biệt như dưới nước hay trên không trung thì chúng được trang bị cơ cấu di chuyển đặc trưng.

#### Robot tự hành di chuyển bằng chân (Legged Robot)

Ưu điểm lớn nhất của loại robot này là có thể thích nghi và di chuyển trên các địa hình gồ ghề. Hơn nữa chúng còn có thể đi qua những vật cản như hố, vết nứt sâu.

Nhược điểm chính của robot loại này chính là chế tạo quá phức tạp. Chân robot là kết cấu nhiều bậc tự do, đây là nguyên nhân làm tăng trọng lượng của robot đồng thời giảm tốc độ di chuyển. Các kĩ năng như cầm, nắm hay nâng tải cũng là nguyên nhân làm giảm độ cứng vững của robot. Robot loại này càng linh hoạt thì chi phí chế tạo càng cao.

Robot tự hành di chuyển bằng chân được mô phỏng theo các loài động vật vì thế mà chúng có loại 1 chân, loại 2,4,6 chân và có thể nhiều hơn. Dưới đây là một số loại robot điển hình chuyển động bằng chân:

A picture containing weapon

Description automatically generated

Hình . Robot tự hành 4 chân

A picture containing toy, automaton

Description automatically generated

Hình . Robot tự hành 6 chân

#### Robot tự hành di chuyển bằng bánh (Wheeled Mobile Robot)

Bánh xe là cơ cấu chuyển động được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghệ Robot tự hành. Vấn đề cân bằng thường không phải là vấn đề được chú ý nhiều trong robot di chuyển bằng bánh. Ba bánh là kết cấu có khả năng duy trì cân bằng nhất, tuy nhiên kết cấu 2 bánh cũng có thể cân bằng được. Khi robot có số bánh nhiều hơn 3 thì thông thường người ta phải thiết kế hệ thống treo để duy trì sự tiếp xúc của tất cả các bánh xe với mặt đất. Vấn đề của robot loại này là về lực kéo, độ ổn định và khả năng điều khiển chuyển động.v.v. Hình dưới đây giới thiệu một số loại Robot tự hành di chuyển bằng bánh:



Hình . Robot tự hành 3 bánh

## Mô hình động lực học của xe tự hành

Theo [28], mô hình động học chỉ mô tả sự biến đổi tĩnh của một số vận tốc trong rô-bốt thành vận tốc được biểu thị dưới dạng tọa độ toàn cục. Tuy nhiên, mô hình chuyện động động lực học của hệ thống cơ học bao gồm các thuộc tính động lực học như chuyển động của hệ thống được gây ra bởi ngoại lực và quán tính của hệ thống. Sử dụng công thức Lagrange để mô tả hệ thống cơ học của rô-bốt, mô hình động lực học được viết như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

trong đó chỉ số  mô tả tọa độ tổng quát .  được định nghĩa là phương trình Lagrangian (hiệu giữa động năng và thế năng của hệ), P là hàm tiêu tán công suất do ma sát và giảm chấn trong hệ thống,  là các lực do hấp dẫn,  là các nhiễu của hệ, và  là lực tổng hợp (ảnh hưởng bên ngoài đến hệ) liên quan đến tọa độ chung . Phương trình (2.1) chỉ biểu thị cho một hệ thống không bị ràng buộc, nghĩa là, cho hệ thống không có ràng buộc hay nói một cách chi tiết thì đang là không có ràng buộc về mặt chuyển động.

Đối với các hệ thống có ràng buộc chuyển động, mô hình động lực học được chỉ ra bằng cách sử dụng phương trình Lagrange như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

trong đó  là số ràng buộc chuyển động độc lập tuyến tính,  là hệ số nhân Lagrange được liên kết với  quan hệ ràng buộc và   là các hệ số của các ràng buộc.

Tập hợp cuối cùng của các phương trình bao gồm  phương trình vi phân và phương trình đại số ( phương trình Lagrange và  phương trình ràng buộc) với  là chưa biết  tọa độ tổng quát  và hệ số nhân Lagrange  Phương trình mô tả động lực học (2.2) với các ràng buộc có thể biểu thị dưới dạng ma trận được viết như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | Véc tơ của tọa độ suy rộng (kích thước ) |
|  | Ma trận xác định dương của khối lượng và quán tính (kích thước ) |
|  | Véc tơ của Lực Coriolis và lực hướng tâm (kích thước ) |
|  | Véc tơ của lực ma sát (kích thước ) |
|  | Véc tơ của lực và mô men do trọng lực gây ra (kích thước ) |
|  | Véc tơ của nhiễu không xác định (kích thước |
|  | Ma trận chuyển đổi từ không gian cơ cấu chấp hành sang không gian tọa độ suy rộng (kích thước ) |
|  | Véc tơ đầu vào (kích thước r × 1) |
|  | Ma trận của hệ số ràng buộc động học (kích thước ) |
|  | Véc tơ của lực ràng buộc (kích thước ) |

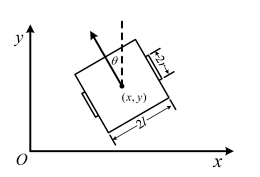
Bảng 1 Ý nghĩa của các ma trận trong mô hình động lực học

## Mô hình động học và động lực học của xe tự hành ba bánh

Chuyển động của WMR trên bề mặt đất là đối tượng nghiên cứu chính của đồ án. Mô hình động lực học phi tuyến ba bậc tự do của WMR được sử dụng trong suốt đồ án để tổng hợp bộ điều khiển và chứng minh tính ổn định của hệ thống.

Phương trình động lực học phi tuyển của WMR theo [28] có dạng như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |



Hình . Tọa độ của hệ thống xe tự hành

Ràng buộc non-holonomic của WMR là:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Ràng buộc non-holonomic có thể viết lại thành  được hình thành bởi một tập hợp các tệp vec tơ tuyến tính và trơn trải dài trong không gian rỗng của  tức là  Từ đó, mô hình động học của WMR là:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Và ma trận hệ số ràng buộc là:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Xét mô hình động lực học của xe tự hành được suy ra từ phương trình Lagrange như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó nhiễu không xác định  trong (2.4) là được cho phép bỏ qua. Tương tự, các lực và các mô men do trọng trường  không xuất hiện vì xe chuyển động trên mặt phẳng có thế năng không đổi.

Để cụ thể hóa, phương trình mô tả động năng của xe được biểu diễn như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Với thế năng bằng 0 () , ta có Phương trình Lagrangian được thể hiện:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Ngoài ra, sự giảm xóc và ma sát khi quay bánh xe có thể bỏ qua (P=0).

Từ công thức (2.4) ta biến đổi (2.6) như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Và

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Theo như phương trình Lagrange (2.9), ta có hệ phương trình như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó tổng hợp lực của bánh trái và bánh phải của xe tự hành là  và r là bán kính của bánh xe. Vì gán xe tự hành trên mặt phẳng tọa độ, vậy nên lực được biểu diễn trên trục x là  và biểu diễn trên trục y là  Mô-men của xe được biểu diễn là . Trong đó L là khoảng cách giữa các bánh xe.

Tóm lại, từ những phân tích trên, ta được mô hình cuối cùng là:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Ở đây không xét đến hiện tượng trượt bánh xe, xem xét các mô hình WMR ba bậc tự do [29], [30], mô hình động lực học phi tuyến của WMR như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với  là vec tơ vị trí, và  là một ma trận quán tính đối xứng, xác định dương với dạng

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với là khối lượng của WMR,  là mô men quán tính của WMR,  là ma trận hướng tâm và Coriolis,  là ma trận chuyển đổi đầu vào,  là vec tơ mô men đầu vào,  mô tả vec tơ lực ma sát,  là lực ràng buộc non-holonomic.

Từ phương trình (2.6), (2.7), thay vào phương trình (2.16) ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với  và 

khi đó

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với  và  là vận tốc dài và vận tốc góc tương ứng. Với  ta có  và   là ma trận đường chéo hằng. Vận tốc ràng buộc là  và .

Trong phạm vi đồ án này chúng em sử dụng mô hình với các tham số hệ thống như sau:

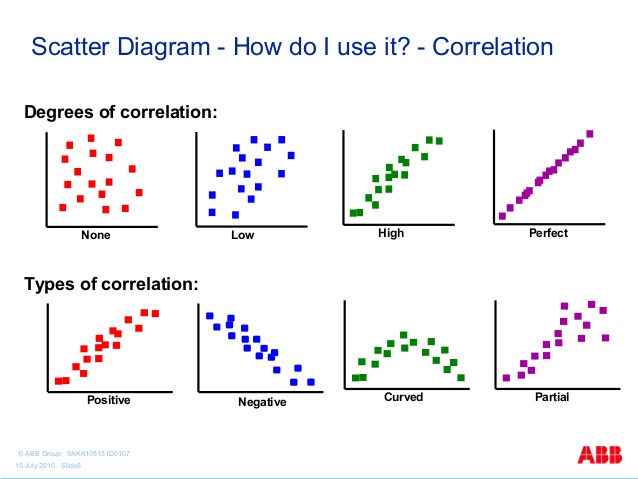












## Sử dụng vận tốc phụ trợ đầu vào trong điều khiển bám quỹ đạo

Xe tự hành là một hệ nonholonomic, vì thế cần sử dụng  trong việc tách mô hình để thiết kế cấu trúc điều khiển dạng nối tầng như được biểu diễn trong Hình 2.5.

Diagram

Description automatically generated

Hình . Sơ đồ điều khiển nối tầng của WMR

Bài toán đặt ra là tác động vào WMRs những giá trị  là bao nhiêu để quỹ đạo thực tế bám theo quỹ đạo mong muốn trong tình huống xe chịu tác động của những yếu tố bất định và nhiễu. Vì vậy ta triển khai thiết kế điều khiển cho mạch vòng bên ngoài trước (Kinematic Control Loop). Nhiệm vụ là tìm  để  khi  mà  thỏa mãn Khi đó  Dẫn tới 

*Nhận xét:* sau khi xử lý được ràng buộc cũng như điều kiện ràng buộc của quỹ đạo đặt, khi này mô hình WMR khi thiết kế điều khiển có thuận lợi là mô hình rõ, tức là không có nhiễu cũng như bất định. Tuy nhiên vẫn gặp phải khó khăn vì đây là hệ thống thiếu cơ cấp chấp hành.

Nếu điều khiển trực tiếp thì trước hết, ta thiết kế mô hình sai lệch bám, từ vận tốc  ta chuyển về dạng  với 

Khi đó, bài toán điều khiển bám quỹ đạo trở thành bài toán thiết kế điều khiển để hệ ổn định Lyapunov. Tuy nhiên nếu thiết kế trực tiếp thì sẽ thấy(với là hàm phức tạp có chứa lượng giác bên trong), điều này sẽ gây ra khó khăn trong tìm kiếm hàm Lyapunov.

Theo như [31], sai lệch bám sử dụng ma trận chuyển nên được đưa về dạng:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Khi đó,  sẽ trở thành:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Theo [31] ta tìm được đầu ra của bộ điều khiển là vận tốc phụ đảm bảo rằng các sai lệch bám của  là ổn định tiệm cận:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với  và  là xác định dương với  và  là vận tốc mong muốn với 

# CƠ SỞ LÝ THUYẾT

## Lý thuyết ổn định Lyapunov

### Xác định điểm cân bằng và làm việc

Xét hệ thống không tự trị mô tả bởi:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

trong đó là vector các tín hiệu trạng thái (hệ có n biến trạng thái) và là vector các tín hiệu điều khiển (hệ có m tín hiệu đầu vào).

Điểm trạng thái  cân bằng của hệ (3.1) là điểm mà hệ sẽ nằm nguyên tại đó khi không bị một tác động nào từ bên ngoài . Như vậy, các *trạng thái xác lập* của hệ (3.1) cũng là điểm cân bằng  của nó. Căn cứ theo định nghĩa trên thì điểm cân bằng  phải là nghiệm của:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Do phương trình (3.2) có thể có nhiều nghiệm hoặc cũng có thể vô nghiệm nên hệ phi tuyến (3.1) có thể có nhiều điểm cân bằng, nhưng cũng có thể không có một điểm cân bằng nào. Điều này là hoàn toàn mới so với hệ tuyến tính. Ta có thể thấy hệ tuyến tính tham số hằng với mô hình trạng thái:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

luôn cân bằng tại gốc tọa độ. Ngoài ra, nếu ma trận A suy biến thì nó không những cân bằng tại gốc  mà còn tại tất cả các điểm thuộc không gian nhân Ker(A). Nếu ma trận A còn là không suy biến (khả nghịch) thì hệ tuyến tính (3.3) chỉ có một điểm cân bằng duy nhất là gốc tọa độ.

Tương tự như khái niệm về điểm cân bằng  nhưng ứng với một tác động cố định không đổi và cho trước ta còn có khái niệm về *điểm dừng* được định nghĩa như sau: “Một điểm trạng thái  và với tác động  cố định cho trước thì hệ sẽ nằm nguyên tại đó.”

Rõ ràng, điểm dừng theo định nghĩa vừa nêu sẽ là nghiệm của:

trong đó là cho trước.

### Định nghĩa ổn định Lyapunov

Một trong những điều kiện, hay tiêu chuẩn chất lượng đầu tiên mà bộ điều khiển cần phải mang đến được cho hệ thống là tính ổn định. Đây là tính chất động học đảm bảo rằng sau khi bị một tác động tức thời đánh bật hệ ra khởi điểm cân bằng  thì sau đó hệ có khả năng tự tìm về điểm cân bằng ban đầu (hoặc ít nhất thì cũng về được lân cận khác của nó).

Nói cách khác, nếu sau khi bị nhiễu tức thời đánh bật ra khỏi điểm cân bằng  và đưa tới một điểm trạng thái  không mong muốn nào đó mà hệ:

* Tự quay được về một lân cận của  thì được gọi là ổn định tại  (*stable*).
* Tự quay về được đúng điểm cân bằng  ban đầu thì được gọi là *ổn định tiệm cận tại  (asymtotically stable).*

**Định nghĩa 3.1:** Giả sử hệ (3.1) cân bằng tại gốc tọa độ , tức là. Gọi Q là một lân cận nào đó đủ lớn của . Khi đó hệ (3.1) sẽ là:

* 1. *Ổn định tại  (stable)* nếu với  bất kỳ bao giờ cũng tồn tại  phụ thuộc  sao cho quỹ đạo trạng thái tự do thỏa mãn:

suy ra 

* 1. Ổn định tiệm cận tại  (asymtotically stable) nếu nó ổn định tại  và thỏa mãn:



Lân cận Q khi đó được gọi là *miền ổn định.* Nếu miền ổn định Q là toàn bộ không gian trạng thái thì tính ổn định còn được gọi là *ổn định toàn cục (global).*

Định nghĩa trên nói rằng nếu cho trước một lân cận  của, tức là tập hợp các điểm  trong không gian trạng thái thỏa mãn  với  là một số thực dương tùy ý nhưng cho trước, thì phải tồn tại một lân cận  cũng của  sao cho mọi đường quỹ đạo trạng thái tại thời điểm t = 0 đi qua một điểm  thuộc lân cận  thì kể từ thời điểm đó sẽ nằm hoàn toàn trong lân cận  (hình 3.1). Vì  nên để có được , lân cận  phải nằm trong lân cận .

Engineering drawing

Description automatically generated

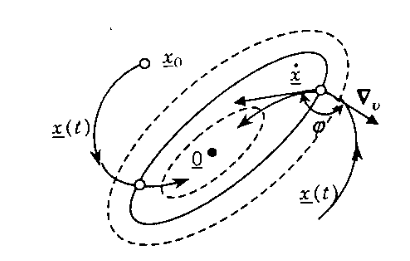
Hình . Minh họa khái niệm ổn định Lyapunov

### Tiêu chuẩn Lyapunov

Để việc tiếp cận tới tiêu chuẩn Lyapunov được đơn giản, ta sẽ bắt đầu với *hệ tự trị (autonom)* có mô hình trạng thái không bị kích thích  của nó là:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Giả thiết rằng hệ cân bằng tại gốc tọa độ . Khi đó, để xét tính ổn định của hệ tại , định nghĩa 3.1 về tính ổn định Lyapunov tại  đã gợi ý cho ta một hướng khá đơn giản thông qua *quỹ đạo trạng thái tự do*  của nó, tức là nghiệm của (3.4) với một giá trị đầu  thích hợp. Chẳng hạn bằng cách nào đó ta đã có được họ các đường cong khép kín  bao quanh gốc tọa độ . Vậy thì để kiểm tra hệ có ổn định tại  hay không ta chỉ cần kiểm tra xem nghiệm  của (3.4) đi từ điểm trạng thái đầu  có cắt các đường cong  này theo hướng từ ngoài vào hay không (hình 2.6). Nếu  cắt mọi đường cong họ  theo chiều từ ngoài vào trong thì hiển nhiên  tiến về  và do đó hệ sẽ ổn định tiệm cận tại .



Hình 2.6: Một gợi ý về việc kiểm tra tính ổn định của hệ tại 0

Rõ ràng là cần và đủ để quỹ đạo pha  của hệ không cắt bất cứ một đường cong khép kín thuộc họ  theo chiều từ trong ra ngoài là tại điểm cắt đó, tiếp tuyến của  phải tạo với vector , được định nghĩa là vector vuông góc với đường cong đó theo hướng từ trong ra ngoài, một góc  không nhỏ hơn . Nói cách khác, hệ sẽ ổn định tại  nếu như có điều kiện:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

tại mọi giao điểm của  với các đường cong thuộc họ .

Vấn đề còn lại là làm thế nào để có được họ các đường cong sao cho việc kiểm tra điều kiện (3.5) được thuận tiện. Câu trả lời là sử dụng *hàm xác định dương ,* được hiểu là một hàm trơn, thỏa mãn:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với mọi , trong đó  và  là hàm thuộc lớp , tức là những hàm  thực, *không âm, đơn điệu tăng,* thỏa mãn , của biến thực . Nếu còn có thêm  thì hàm  được gọi là *thuộc lớp .*

### Định nghĩa hàm BLF

**Định nghĩa 3.2:** Barrier Lyapunov Function - BLF là một hàm vô hướng V(x), được xác định theo hệ thức  trên một vùng mở D chứa gốc tọa độ, liên tục, xác định dương, có đạo hàm riêng bậc nhất liên tục tại mọi điểm của D, có tính chất  khi x tiến tới biên của D và thỏa mãn  cùng nghiệm của  với  và một hằng số dương b.

Một hàm BLF có thể đối xứng hoặc không đối xứng như hình

A picture containing scale

Description automatically generated

Hình . Mô hình ming họa hàm BLF đối xứng (trái) và không đối xứng (phải)

## Mạng nơ ron nhân tạo

### Khái niệm của mạng nơ ron

Neural Network là Mạng nơ-ron nhân tạo, đây là một chuỗi những thuật toán được đưa ra để tìm kiếm các mối quan hệ cơ bản trong tập hợp các dữ liệu. Thông qua việc bắt bước cách thức hoạt động từ não bộ con người. Nói cách khác, mạng nơ ron nhân tạo được xem là hệ thống của các tế bào thần kinh nhân tạo. Đây thường có thể là hữu cơ hoặc nhân tạo về bản chất.



Hình . Mạng nơ ron nhân tạo dựa theo mô phỏng nơ ron hệ thần kinh của sinh vật

Neural Network có khả năng thích ứng được với mọi thay đổi từ đầu vào. Do vậy, nó có thể đưa ra được mọi kết quả một cách tốt nhất có thể mà bạn không cần phải thiết kế lại những tiêu chí đầu ra.

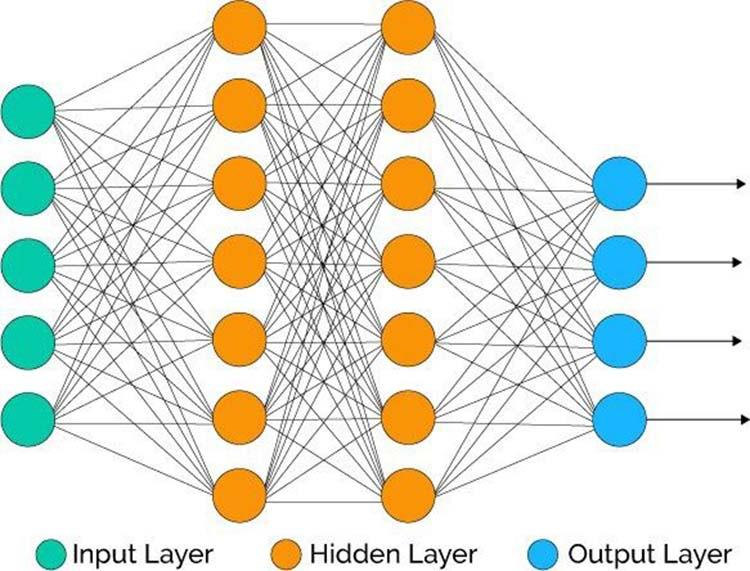
Khái niệm này có nguồn gốc từ trí tuệ nhân tạo, đang nhanh chóng trở nên phổ biến hơn trong sự phát triển của những hệ thống giao dịch điện tử.

### Kiến trúc mạng nơ ron

Mạng Neural Network là sự kết hợp của những tầng perceptron hay còn gọi là perceptron đa tầng. Và mỗi một mạng Neural Network thường bao gồm 3 kiểu tầng là:

* Tầng input layer (tầng vào): Tầng này nằm bên trái cùng của mạng, thể hiện cho các đầu vào của mạng.
* Tầng hidden layer (tầng ẩn): Tầng này nằm giữa tầng vào và tầng ra nó thể hiện cho quá trình suy luận logic của mạng.
* Tầng output layer (tầng ra): Là tầng bên phải cùng và nó thể hiện cho những đầu ra của mạng.

Lưu ý: Mỗi một Neural Network chỉ có duy nhất một tầng vào và 1 tầng ra nhưng lại có rất nhiều tầng ẩn.



Hình . Kiến trúc NN

Với mạng Neural Network thì mỗi nút mạng là một sigmoid nơron nhưng chúng lại có hàm kích hoạt khác nhau. Thực tế, người ta thường sử dụng có cùng loại với nhau để việc tính toán thuận lợi hơn.

Tại mỗi tầng, số lượng nút mạng có thể khác nhau còn tùy vào bài toán hoặc cách giải quyết.

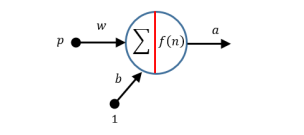
Tuy nhiên, khi làm việc người ta sẽ để các tầng ẩn số với số lượng nowrowrron khác nhau. Ngoài ra, những nơron nằm ở tầng thường sẽ liên kết đôi với nhau để tạo thành mạng kết nối đầy đủ nhất. Khi đó, người dùng có thể tính toán được kích cỡ của mạng dựa vào tầng và số lượng nơ ron.

### Ứng dụng của mạng nơ ron

Mạng nơ-ron được ứng dụng rất nhiều để giải quyết bài toán trong thực tế như phân loại (ảnh, giọng nói, tín hiệu) xấp xỉ hàm, dự báo, nhận dạng hệ thống và thiết kế bộ điều khiển. Sau đây là một số ứng dụng của mạng nơ-ron theo [32]:

* Điện tử: Sự bố trí chip IC, điều khiển quá trình, phân tích lỗi chip, thị lực máy, tổng hợp tiếng nói, mô hình hóa phi tuyến.
* Rô-bốt: Điều khiển quỹ đạo, xe nâng hàng, các bộ điều khiển tay máy, các hệ thống thị giác, xe tự hành.
* Ô-tô: Các hệ thống dẫn hướng tự động, điều khiển bơm nhiên liệu, các hệ thống phanh tự động, dò động cơ không nổ, các cảm biến dò sự phát khí ảo.
* Sản xuất: Điều khiển quá trình sản xuất, phân tích và thiết kế sản phẩm, chuẩn đoán máy và quá trình, nhận dạng hạt thời gian thực, các hệ thống kiểm định chất lượng, thử bia, phân tích chất lượng hàm, dự đoán chất lượng giấy, phân tích chất lượng chip máy tính, phân tích các hoạt động nghiền, phân tích thiết kế sản phẩm hóa học, phân tích bảo dưỡng máy, đầu thầu dự án, quản lý và kế hoạch hóa, mô hình động của quá trình hóa học.

Ở trong báo cáo này, chúng ta sẽ làm rõ về ứng dụng mạng nơ ron trong rô bốt tự hành 3 bánh đó là điều khiển bám quỹ đạo.



Hình . Sơ đồ khối nơ ron nhân tạo

Sơ đồ trên Hình 1 thể hiện cấu trúc của một nơ-ron nhân tạo có một đầu vào. Trong đó, p là đầu vào của nơ-ron, w là trọng số đầu vào, b là ngưỡng (bias),  là bộ tổng, n là đầu vào net, a là đầu ra của nơ-ron, f là hàm truyền. Quan hệ vào ra của nơ-ron như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

### Nơ ron nhiều đầu vào

A picture containing text, clock, gauge

Description automatically generated

Hình . Sơ đồ khối một nơ ron nhiều đầu vào

Nơ-ron có nhiều đầu vào được mô tả như hình 2, trong đó đầu vào là một véc tơ p có R thành phần:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Và có véc-tơ trọng số như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Mỗi đầu vào  sẽ được đưa vào bộ tổng thông qua một trọng số là . Đầu vào net được tính theo công thức sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Đầu ra của nơ-ron là

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Với  là hàm truyền của nơ-ron . Công thức trên được viết rút gọn như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

### Mạng xuyên tâm ( Radial Basis Fucntion)

Mạng xuyên tâm RBF gồm hai lớp. Có hai sự khác biệt chính giữa mạng xuyên tâm RBF và mạng hai lớp perceptron. Đầu tiên, trong lớp đầu tiên của RBF, thay vì dùng phép nhân ma trận giữa đầu vào và véc tơ trọng số , ta tính khoảng cách giữa đầu vào và các hàng của ma trận trọng số. Thứ hai, thay vì cộng với hệ số bias , thì mạng xuyên tâm RBF nhân với hệ số bias (hệ số b). Do đó đầu vào net trong lớp đầu tiên của RBF được viết như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

 là véc tơ trọng số của nơ-ron i hoặc có thể gọi là tâm,  là ngưỡng của nơ-ron i,  là khoảng cách giữa véc tơ đầu vào với véc tơ trọng số, và  là véc tơ đầu vào.

Khi  trong đó  là độ lệch chuẩn, thì hàm truyền  sẽ có dạng *Gaussmf*  như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Hàm truyền đó được thể hiện như hình 3 dưới đây :

Chart, histogram

Description automatically generated

Hình . Hàm Gaussmf

Lớp thứ hai có hàm truyền là hàm tuyến tính:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Khi , mạng RBF giống mô hình mờ Sugeno. Mạng này thường được sử dụng để xấp xỉ các thành phần bất định của đối tượng trong quá trình thiết kế bộ điều khiển.

Hình 3.7 mô tả tổng quan mạng xuyên tâm RBF:

Diagram

Description automatically generated

Hình . Mạng xuyên tâm RBF

Trong bài toán này, ta sử dụng mạng nơ ron với 3 lớp là: Lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra.

* Với lớp đầu vào : ma trận 6x1 là 
* Lớp ẩn ( tức lớp đầu tiên ) :  với hàm Gauss là hàm kích hoạt được định nghĩa ở (3.12) với tâm của mỗi hàm gauss được chọn trong và hệ số bias là 4.
* Lớp đầu ra :  với .

# BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA XE TỰ HÀNH

Bộ điều khiển dựa trên mô hình toán học là một bộ điều khiển được thiết kế hoàn toàn bằng việc biến đổi mô hình toán học của đối tượng. Sao cho, bộ điều khiển đó biểu diễn trực quan nhất các mối liên hệ giữa các đại lượng vật lý và toán học ở trong một biểu thức toán học. Bằng việc biến đổi toán học, sử dụng tiêu chuẩn ổn định Lyapunov để tìm ra được bộ điều khiển phù hợp với nhiệm vụ bám quỹ đạo của đối tượng mà vẫn thỏa mãn được các ràng buộc vận tốc. Nội dung của chương này sẽ trình bày về các bước thiết kế bộ điều khiển dựa trên mô hình và phần mô phỏng kiểm nghiệm lại kết quả.

## Các định nghĩa

**Định nghĩa 4.1:** Toán tử  được định nghĩa như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với  và  là các véc-tơ.

**Định nghĩa 4.2:** Hàm dấu được định nghĩa như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

## Thiết kế bộ điều khiển dựa trên mô hình toán học của xe tự hành

Để có thể thiết kế bộ điều khiển sao cho bám quỹ đạo đặt mà vẫn thỏa mãn sự ràng buộc của vận tốc, ta xét tới sai lệch của vận tốc  và vận tốc phụ  (vận tốc phụ để có thể đảm bảo rằng sai lệch bám được ổn định). Ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Ta chọn hàm ứng viên Lyapunov cho mô hình xe tự hành có ràng buộc như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với hàm  có thể được chia thành 2 phần, ứng với vận tốc dài và vận tốc góc

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

với

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Trong đó:  là ma trận xác định dương,   là điểm cực tiểu của hàm :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Với  được định nghĩa như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Với  trong đó 

 là một hàm liên tục xác định dương khi có xuất hiện ràng buộc của vận tốc, bởi vì  là hàm liên tục,  là hàm liên tục độc lập của  và  bằng với giá trị nhỏ nhất của  Đối với sự ràng buộc về mặt vận tốc,  nếu  thì  điều đó chứng tỏ rằng hàm Lyapunov (4.4) có thể giúp thiết kế bộ điều khiển mà có thể ràng buộc được vận tốc.

Lưu ý rằng hàm BLF trong phương pháp điều khiển WMR khác yêu cầu rằng các giá trị mong muốn không được vượt quá giá trị ràng buộc. Tuy nhiên trong đồ án này, giá trị mong muốn của hàm BLF lại là đầu vào vận tốc phụ, và nó có thể vượt quá giá trị ràng buộc khi WMR ở xa vị trí mong muốn. Vì vậy mà hàm Lyapunov (4.4) được thiết kế để có thể giải quyết được tình huống này.

Hàm Lyapunov (4.4) được thiết kế bởi 3 phần:  được sử dụng cho sự giảm của  sử dụng cho ràng buộc về vận tốc và  được dùng để đảm bảo rằng giá trị nhỏ nhất của  bằng 0.

 có thể chia làm hai phần, tương ứng với  và :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Theo [33], ta đề xuất mô hình điều khiển như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó,  là hằng số dương xác định dương

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

 được định nghĩa như sau :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó  được định nghĩa như sau :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

## Phân tích tính ổn định luật điều khiển dựa trên Model-Base

**Định lý 1:** Theo như [33], đối với hệ thống được mô tả bởi (2.16) , cùng luật điều khiển (4.12), thì với các trạng thái ban đầu thỏa mãn ràng buộc  các trạng thái của hệ thống sẽ không vi phạm các ràng buộc. Khi  các tín hiệu sai lệch vận tốc  và sai lệch vị trí  sẽ hội tụ về 0. Khi đó hệ kín là ổn định tiệm cận.

**Chứng minh:** Đạo hàm  theo thời gian ta có như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Để đơn giản hóa công thức (4.16) ta chia  thành ba trường hợp:

* Nếu , ta có  và 
* Nếu  là hằng số và 
* Nếu  ta có  khi đó  và  đều trơn tại .

Với  là điểm cực tiểu của , ta có

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Để tổng hợp lại các trường hợp, với mỗi  ta có

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Sau đó thay công thức (4.20) vào công thức (4.18), ta có

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Thay (4.13), (4.17), (4.21) vào (4.16) ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Chia  thành 2 phần ứng với  và , ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Thay (2.18) và (4.12) vào (4.24), ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Thay (4.10) và (4.25) vào (4.23) ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Theo như hàm Lyapunov ở trên, chúng ta kết luận rằng  có thể hội tụ về 0. Khi ta có  và  Vì vậy,  có thể hội tụ về 0.

## Mô phỏng cho đối tượng WMR

Dưới đây là kết quả mô phỏng thuật toán dựa trên mô hình cho xe tự hành với các tham số điều khiển như hình (4.1-4.8):

Các tham số hệ thống như sau:









Các tham số của bộ điều khiển được đề xuất cho mỗi tác nhân bao gồm hệ số điều khiển, các tham số của vận tốc phụ:



Với thời gian mô phỏng là  và quỹ đạo mong muốn là:



Tại điểm bắt đầu là:



Ta thu được kết quả mô phỏng như sau:

A picture containing chart

Description automatically generated

Hình . Quỹ đạo của xe tự hành

Chart

Description automatically generated

Hình . Giá trị hàm Lyapunov

Chart

Description automatically generated

Hình . Vận tốc dài của WMR

Graphical user interface, chart, application

Description automatically generated

Hình . Vận tốc góc của WMR

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa xref và x

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa yref và y

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa phiref và phi

Chart

Description automatically generated

Hình . Tín hiệu điều khiển của WMR

*Nhận xét chung:* Nhìn chung quỹ đạo của xe tự hành đã bám với quỹ đạo mong muốn, hàm Lyapunov hội tụ về 0 trong một thời gian nhỏ, chất lượng điều khiển tốt, thời gian đáp ứng nhanh, điều này khẳng định được tính đúng đắn của bộ điều khiển được thiết kế theo (4.12), các vận tốc dài và vận tốc góc đều không phá vỡ ràng buộc, chất lượng điều khiển tốt.

# BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON

## Thiết kế luật điều khiển thích nghi sử dụng NN

Đối với bộ điều khiển sử dụng mạng nơ ron, theo [33] ta đề xuất luật điều khiển thích nghi NN như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

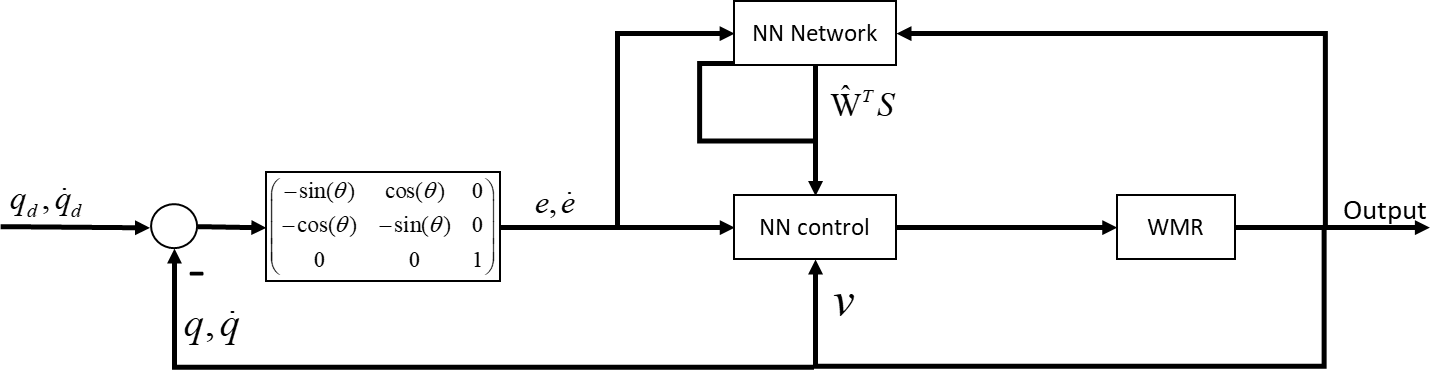
Trong đó  là hệ số điều khiển,  là mạng neural được thể hiện như trên,  là hàm cơ sở của mạng nơ-ron RBF với đầu vào  là hàm Gaussian .  là ma trận trọng số của mạng neural được biểu diễn bởi luật thích nghi như sau

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó  là ma trận dương, là ma trận hằng số nhỏ. Mạng nơ-ron  được chỉ ra xấp xỉ với  được định nghĩa bởi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó  là sai lệch xấp xỉ. Ở đây ta có thể coi nó bằng 0. Hình 1 thể hiện được sơ đồ các khối của bộ điều khiển được liên kết với nhau.



Hình . Sơ đồ khối của bộ điều khiển được đề xuất

## Phân tích tính ổn định luật điều khiển dựa trên Neural Network

**Định lý 2**: Theo như [33] đối với Hệ thống được mô tả như (2.16) , với luật điều khiển (5.1) và luật thích nghi (5.2) , đối với trạng thái ban đầu phải đáp ứng được ràng buộc vận tốc  , các trạng thái của hệ thống sẽ không vi phạm các ràng buộc. Khi mà  hệ thống điều khiển vòng kín cuối cùng bị chặn bán toàn cục, các tín hiệu sai lệch  và  sẽ hội tụ tới các tập hợp chặt và  được định nghĩa như sau :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Trong đó  ,  là giá trị nhỏ nhất thỏa mãn  và  là hằng số dương.

**Chứng minh** : Xem xét hàm ứng viên Lyapunov sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

trong đó:  là sai số trọng số.

Đạo hàm (5.6) theo thời gian ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

 cũng có thể chia thành hai phần ứng với  và , tương ứng:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Sau đó (5.7) trở thành :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Thay thế (2.18) và  vào (5.11) ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Sử dụng luật điều khiển (5.1) và  ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Từ  là ma trận chéo xác định dương, ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Thay thế (5.2) vào (5.14) và sử dụng , ta có :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Để so sánh  và  đạo hàm từng phần  theo , ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Đạo hàm từng phần của  theo  ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Với

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

và

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Ta thu được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Từ (5.9), (5.17) và (5.25) ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

và

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Trong đó

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |
|  |  | (.) |

Theo như hàm Lyapunov ở trên, chúng ta có thể kết luận rằng  có thể hội tụ về giá trị nhỏ tùy ý bằng cách tăng . Nếu vận tốc phụ  lớn, hoặc thậm chí lớn hơn cả các ràng buộc , tức là  hoặc , phương pháp mà ta đề xuất có thể giới hạn được vận tốc để thỏa mãn các ràng buộc cho sự an toàn, thứ mà quan trọng hơn cả việc bám ổn định. Nếu  chúng ta có  và  Với  có thể hội tụ về một giá trị nhỏ tùy ý bởi việc tăng , chúng ta biết rằng là  có thể hội tụ tới những giá trị nhỏ bất kỳ, tức là với bất cứ giá trị  và trạng thái đầu  ta chọn , tồn tại một  khi  và  chúng ta có  và  Theo như phân tích trong Điều khiển dựa trên mô hình ở chương trước, ta có thể trực tiếp thu được rằng sai lệch  sẽ hội tụ về  thứ mà có thể nhỏ tùy ý bằng cách chọn  và  Theo như [34], hệ thống điều khiển vòng kín cuối cùng bị chặn bán toàn cục.

## Mô phỏng cho đối tượng WMRs

Dưới đây là kết quả mô phỏng thuật toán dựa trên mô hình cho xe tự hành với các tham số điều khiển như hình (5.2-5.11):

Các tham số hệ thống như sau:









Các tham số của bộ điều khiển được đề xuất cho mỗi tác nhân bao gồm hệ số điều khiển, các tham số của vận tốc phụ:



Tâm của 64 mạng nơ ron được chọn trong vùng:



Với thời gian mô phỏng là  và quỹ đạo mong muốn là:



Tại điểm bắt đầu là:



Ta thu được kết quả mô phỏng như sau:

A picture containing chart

Description automatically generated

Hình . Quỹ đạo của WMR

Chart, histogram

Description automatically generated

Hình . Hàm Lyapunov

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Vận tốc dài WMR

Chart

Description automatically generated

Hình . Vận tốc góc của WMR

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa xref và x

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa yref và y

Chart, line chart

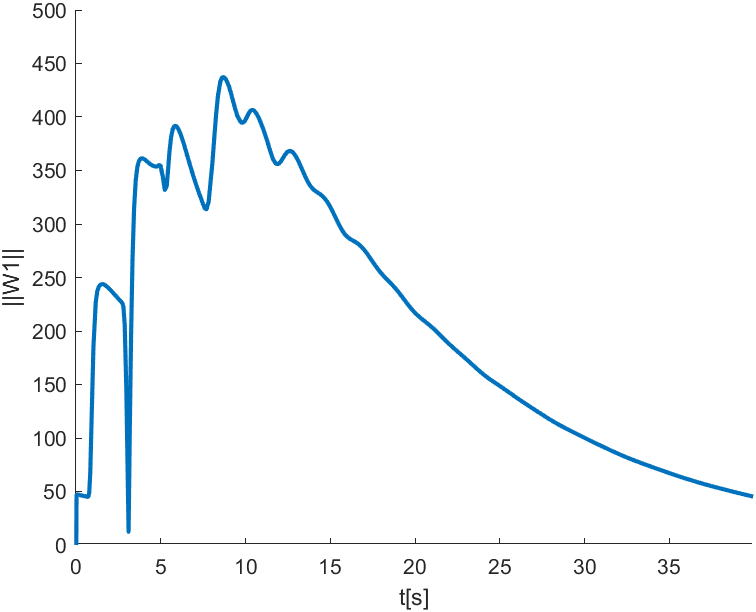
Description automatically generated

Hình . Sai lệch giữa phiref và phi

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Tín hiệu điều khiển của WMR



Hình . Chuẩn của trọng số thứ nhất của lớp đầu ra

Chart, histogram

Description automatically generated

Hình . Chuẩn của trọng số thứ hai của lớp đầu ra

*Nhận xét chung:* Nhìn chung quỹ đạo của xe tự hành đã bám với quỹ đạo mong muốn, hàm Lyapunov hội tụ về 0 trong một thời gian nhỏ, điều này khẳng định được tính đúng đắn của bộ điều khiển được thiết kế theo (5.1), các vận tốc dài và vận tốc góc đều không phá vỡ ràng buộc, chất lượng điều khiển tốt nhưng thời gian đáp ứng chưa đủ nhanh.

Chart, line chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch xref-x của 2 phương pháp điều khiển

Chart, line chart, histogram

Description automatically generated

Hình . Sai lệch yref-y của 2 phương pháp điều khiển

Chart

Description automatically generated

Hình . Sai lệch phiref-phi của 2 phương pháp điều khiển

So sánh giữa 2 thuật toán điều khiển (Hình 5.12-5.14) thì ta nhận thấy thuật toán dựa trên mô hình vượt trội hơn hẳn so với thuật toán sử dụng mạng nơ ron. Tuy nhiên thuật toán dựa trên mô hình thì lại khó có thể áp dụng được trong thực tế, bởi mô hình thì các tham số là đã biết, nhưng thực tế thì rất khó để có được các thông số của xe một cách chính xác. Phương pháp sử dụng mạng nơ ron tuy có chất lượng kém hơn nhưng hoàn toàn có thể áp dụng được ở trong thực tế nhờ tính năng xấp xỉ đặc trưng của mạng.

# KẾT LUẬN

## Kết luận

Trong nội dung của đồ án, em đã thực hiện và hoàn thành các công việc sau:

Đầu tiên, nghiên cứu về đối tượng là xe tự hành, từ đó tìm hiểu và đưa ra phương pháp điều khiển để giải quyết vấn đề bám quỹ đạo nhưng vẫn đảm bảo được các ràng buộc về vận tốc. Sau khi xâu chuỗi các kiến thức và dựa trên những cơ sở lý thuyết đã được học, sinh viên đề xuất và thiết kế bộ điều khiển dựa trên mô hình.

Tiếp theo, tìm hiểu về mạng nơ ron nhân tạo, các tính chất của mạng nơ ron, từ đó đưa ra phương pháp điều khiển thích nghi trong bám quỹ đạo sử dụng mạng nơ ron.

Sau cùng, sinh viên đã thực hiện mô phỏng đối tượng và bộ điều khiển trên phần mềm Matlab Simulink để kiểm nghiệm và chứng minh chất lượng của bộ điều khiển cũng như hiệu quả khi tính toán và thiết kế. Kết quả thu được là quỹ đạo thực của đối tượng đã bám khá tốt so với quỹ đạo mong muốn ở cả hai bộ điều khiển là bộ điều khiển dựa trên mô hình và bộ điều khiển thích nghi sử dụng mạng nơ ron.

Ý tưởng và phương pháp thiết kế bộ điều khiển cho đối tượng trong đồ án được cho là mới, bởi kế thừa và tham khảo từ những công trình nghiên cứu, những bài báo tin cậy được công bố gần đây về chủ đề tương tự. Nội dung của báo cáo cũng phải vận dụng những kiến thức và kết quả trong lý thuyết điều khiển.

Sau khi thực hiện xong đồ án, sinh viên đã rút ra được nhiều bài học kinh nghiệm, nhiều kỹ năng còn thiếu sót và cần bổ sung thêm, các kỹ năng trình bày, mô phỏng, tìm kiếm tài liệu đều được nâng cao.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | J. X. Xu, Z. Q. Guo, and T. H. Lee, "Design and implementation of integral sliding-mode control on an underactuated two-wheeled mobile robot," *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol. 61, no. 7, pp. 3671-3681, 2014. |
| [2] | W. He, Y. Dong, and C. Sun, "Adaptive neural impedance control of a robotic manipulator with input saturation," *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Systems,* vol. 46, no. 3, pp. 334-344, 2017. |
| [3] | P. Sun and S. Wang, "Redundant input guaranteed cost non-fragile tracking control for omnidirectional rehabilitative training walker," *International Juornal of Control Automation and Systems,* vol. 13, no. 2, pp. 454-462, 2015. |
| [4] | S. Dong, S. Hu, X. Shao, and L. Chong, "Global stability of a saturated nonlinear pid controller for robot manipulators," *IEEE Transactions on Control Systems Technology,* vol. 17, no. 4, pp. 892-899, 2009. |
| [5] | G. Yi, J. Mao, Y. Wang, H. Zhang, and Z. Miao, "Neurodynamics-based leader-follower formation tracking of multiple nonholonomic vehicles," *Assembly Automation,* vol. 38, no. 5, pp. 548-557, 2018. |
| [6] | C. Hua, C. Lei, Z. Qian, and T. Fei, "Visual servoing of dynamic wheeled mobile robots with anti-interference finite-time controllers," *Assembly Automation,* vol. 38, no. 5, pp. 558-567, 2018. |
| [7] | M. Velascovilla, E. Arandabricaire, H. Rodriguezcortes, and J. Gonzalezsierra, "Trajectory tracking for awheeled mobile robot using a vision based positioning system and an attitude observer," *European Journal of Control,* vol. 18, no. 4, p. 348–355, 2012. |
| [8] | H. Yang, X. Fan, Y. Xia, and C. Hua, "Robust tracking control for wheeled mobile robot based on extended state observer," *Advanced Robotics,* vol. 30, no. 1, p. 1–11, 2015. |
| [9] | W. Sun, S. Tang, H. Gao, and J. Zhao, "Two time-scale tracking control of nonholonomic wheeled mobile robots," *IEEE Transactions on Control Systems Technology,* vol. 24, no. 6, p. 2059–2069, 2016. |
| [10] | R. W. Brockett, "Asymptotic stability and feedback stabilization," *Differential Geometric Control Theory,* vol. 27, pp. 181-191, 1983. |
| [11] | A. M. Bloch, M. Reyhanoglu, and N. H. Mcclamroch, "Control and stabilization of nonholonomic dynamic systems," *IEEE Transactions on Automatic Control,* vol. 37, no. 11, p. 1746–1757, 1992. |
| [12] | H. Xiao, Z. Li, C. Yang, L. Zhang, P. Yuan, L. Ding, and T. Wang, "Robust stabilization of a wheeled mobile robot using model predictive control based on neurodynamics optimization," *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol. 64, no. 1, pp. 505-516, 2016. |
| [13] | L. Ding, H. Gao, Z. Deng, K. Yoshida, and K. Nagatani, "Slip ratio for lugged wheel of planetary rover in deformable soil: definition and estimation," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems,* 2009. |
| [14] | J. Alvarez-Ramirez, V. Santibanez, and R. Campa, "Stability of robot manipulators under saturated pid compensation," *IEEE Transactions on Control Systems Technology,* vol. 16, no. 6, pp. 1333-1341, 2008. |
| [15] | V. Sankaranarayanan and A. D. Mahindrakar, "Configuration constrained stabilization of a wheeled mobile robot theory and experiment," *IEEE Transactions on Control Systems Technology,* vol. 21, no. 1, pp. 275-280, 2013. |
| [16] | Y. Zhang, W. Li, and Z. Zhang, "Physical-limits-constrained minimum velocity norm coordinating scheme for wheeled mobile redundant manipulators," *Robotica,* vol. 33, no. 6, p. 1325–1350, 2015. |
| [17] | C. L. Chen, G. X. Wen, Y. J. Liu, and Z. Liu, "Observer-based adaptive backstepping consensus tracking control for high-order nonlinear semistrict-feedback multiagent systems," *IEEE Transactions on Cybernetics,* vol. 46, no. 7, pp. 1591-1601, 2017. |
| [18] | G. Wen, C. L. P. Chen, Y. J. Liu, and L. Zhi, "Neural network-based adaptive leader-following consensus control for a class of nonlinear multiagent state-delay systems," *IEEE Transactions on Cybernetics,* vol. 47, no. 8, pp. 2151-2160, 2017. |
| [19] | W. He and Y. Dong, "Adaptive fuzzy neural network control for a constrained robot using impedance learning," *IEEE transactions on neural networks and learning systems,* vol. 29, no. 4, p. 1174–1186, 2017. |
| [20] | S. Zhang, Y. Dong, Y. Ouyang, Z. Yin, and K. Peng, "Adaptive neural control for robotic manipulators with output constraints and uncertainties," *IEEE transactions on neural networks and learning systems,* vol. 46, no. 11, p. 2670–2680, 2018. |
| [21] | Y. J. Liu and S. Tong, "Optimal control-based adaptive nn design for a class of nonlinear discrete-time block-triangular systems," *IEEE Transactions on Cybernetics,* vol. 46, no. 11, p. 2670–2680, 2017. |
| [22] | M. Chen and S. S. Ge, "Adaptive neural output feedback control of uncertain nonlinear systems with unknown hysteresis using disturbance observer," *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol. 62, no. 12, p. 7706–7716, 2015. |
| [23] | S. Jagannathan and P. He, "Neural-network-based state feedback control of a nonlinear discrete-time system in nonstrict feedback form," *IEEE Transactions on Neural Networks,* vol. 19, no. 12, pp. 2073-87, 2008. |
| [24] | J. Chen and H. Qiao, "Muscle-synergies-based neuromuscular control for motion learning and generalization of a musculoskeletal system," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems,* 2020. |
| [25] | Y. Maeda and M. Iwasaki, "Rheology-based rolling friction modeling with parameterization by neural network," *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering,* vol. 76, no. 7, pp. 819-826, 2010. |
| [26] | M. L. Corradini, G. Ippoliti, and S. Longhi, "Neural networks based control of mobile robots: Development and experimental validation," *Journal of Robotic Systems,* vol. 20, no. 10, p. 587600, 2003. |
| [27] | L. Ding, L. Shu, Y. J. Liu, H. Gao, C. Chen, and Z. Deng, "Adaptive neural network-based tracking control for full-state constrained wheeled mobile robotic system," *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics System,* vol. 47, no. 8, pp. 2410-2419, 2017. |
| [28] | G. Klancar, A. Zdesar, S. Blazic and I. Skrjanc, Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems 1st Edition, 2017. |
| [29] | R. Fierro and F. L. Lewis, "Control of a nonholonomic mobile robot using neural networks," *IEEE Transactions on Neural Networks,* vol. 9, no. 4, pp. 589-600, 1998. |
| [30] | H. Tang and J. Wan, "Robust adaptive control based on neural networks for mobile manipulators," *IEEE International Conference on Computer and Communications,* 2017. |
| [31] | Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *IEEE International Conference on Robotics and Automation,* 1991. |
| [32] | Nguyễn Hoài Nam và Nguyễn Thu Hà, Cơ sở hệ mờ và mạng nơ ron, 2020. |
| [33] | Z. Chen, Y. Liu, W. He, H. Qiao and H. Ji, "Adaptive-Neural-Network-Based Trajectory Tracking Control for a Nonholonomic Wheeled Mobile Robot With Velocity Constraints," *IEEE Transactions on Industrial Electronics,* vol. 68, no. 6, pp. 5057-5067, 2021. |
| [34] | S. S. Ge, C. C. Hang, T. H. Lee and T. Zhang, "Stable adaptive neural network control," *Springer Science & Business Media,* vol. 13, 2013. |

# PHỤ LỤC

## Phụ lục 1: Chứng minh tính đúng đắn của ma trận chuyển

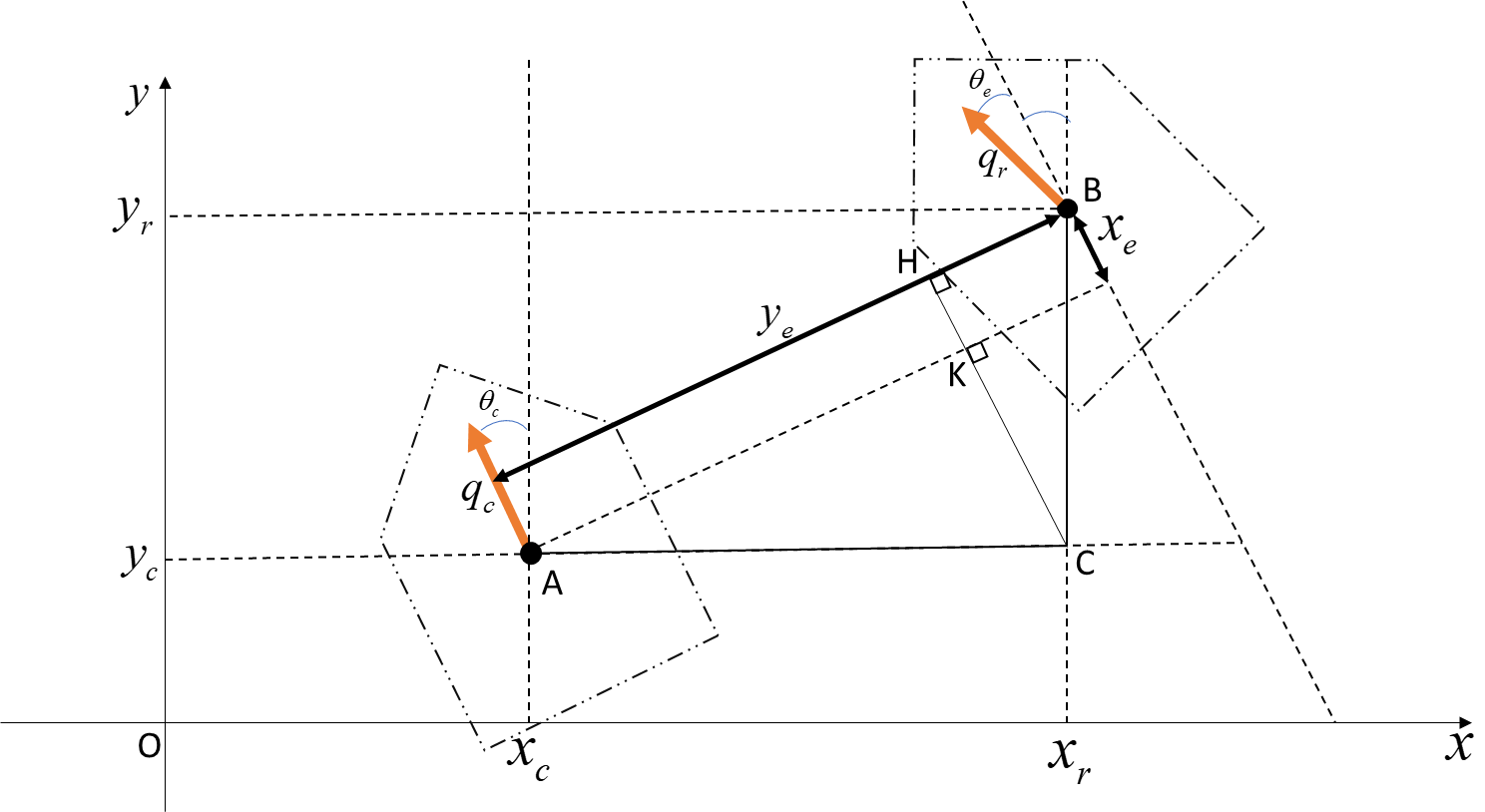
Để chứng minh tính đúng đắn của ma trận chuyển, ta xét lại công thức như đã đề cập ở phần trên:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

Từ công thức (1) ta cần chứng minh 3 phương trình sau là đúng:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |
|  |  | (3) |
|  |  | (4) |

Đối với xét góc phi của xe tự hành, có rất nhiều cách chọn, tuy nhiên ở đây để có thể thống nhất về cách chọn ta xét WMR như hình dưới đây:



Kẻ



Từ hình minh họa trên của WMR, ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |
|  |  | (6) |
|  |  | (7) |

Đầu tiên, để chứng minh công thức (1) là đúng, ta xét tới sai lệch vị trí đối với biến x:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

Từ hình trên, ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |
|  |  | (10) |

Thay thế (9),(10) vào (8) ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (11) |

Vậy công thức (2) được chứng minh đúng.

Tương tự, phân tích đối với sai lệch của biến y:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (12) |

Từ hình minh họa trên, ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (13) |
|  |  | (14) |

Thay thế (13),(14) vào (12) ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (15) |

Vậy (3) được chứng minh .

Theo phân tích xe thịnh hành đã đề cập ở trên, ta nhận thấy công thức (4) luôn đúng:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (16) |

Nói tóm lại, từ phương trình (2), (3), (4) được chứng minh đúng, ta kết luận ma trận chuyển của công thức (1) là chính xác.

## Phụ lục 2: Chứng minh tính đúng đắn của công thức sai lệch sử dụng ma trận chuyển

Từ công thức ràng buộc vận tốc ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

Từ phương trình sai lệch sử dụng ma trận chuyển ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

Đạo hàm theo thời gian đối với  ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

Ta thấy  và , thay vào phương trình (3) ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

Đạo hàm theo thời gian đối với  ta được:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

Ta thấy  và , thay vào phương trình (3) ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

Đạo hàm theo thời gian đối với  ta được

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | () |

## Phụ lục 3: Chứng minh tính ổn định của bài toán khi sử dụng vận tốc phụ

Để chứng minh cho sự hội tụ của sai lệch vị trí  ở trên đã đề cập, ta chọn hàm ứng viên Lyapunov như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |
|  |  | (2) |

Trong đó:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |
|  |  | (4) |
|  |  | (5) |

Thay thế (3), (4), (5) vào (2) ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

Thay thế (2.10), (4.1) vào (6) ta có:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |
|  |  | (8) |

Đối với sự hội tụ của  đã phân tích ở trên, với bất cứ giá trị nào , sẽ tồn tại một chu kì , khi  thì ta có : Từ đó phương trình sẽ trở thành như sau :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

Trong đó: . Ở phương trình (9),  khi  hoặc là . Để chọn giá trị  nhỏ tùy ý , ta đặt điều kiện thỏa mãn . Sau đó nếu ta có :  thì ta sẽ có bất phương trình sau : . Và từ điều đó, thì ta có thể kết luận được rằng .

Vậy nên khi

Trong đó thỏa mãn  (chiều dài trục bánh xe) có giá trị nhỏ nhất sao cho thỏa mãn:

; 

; .

Thì sẽ xảy ra hai điều kiện sau:

1. Nếu  thì sẽ có .
2. Nếu , ta có :

,

Đối với điều kiện (2) , ta thiết lập thời gian sao cho vẫn thỏa mãn :, từ đó ta có : 

Với điều kiện , ta phân tích giá trị của  trong khoảng thời gian , được triển khai như sau:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (10) |
|  |  | (11) |

Đối với  được lấy từ điều kiện (2), từ chứng minh [33], ta có : 

Tóm lại trong điều kiện 2 , với khoảng thời gian trong chu kỳ T, ta có : 

Vì thế , sẽ được hội tụ trong miền compact:



Khi  thì . Và điều đó chứng tỏ rằng . Và hệ thống điều khiển vòng kín được chứng minh ổn định

## Phụ lục 4: Sơ đồ mô phỏng của phương pháp Model-Based

Diagram

Description automatically generated

Hình 6.. Sơ đồ khối mô phỏng theo phương pháp Model Based.

Diagram, schematic

Description automatically generated

Hình 6.. Bộ điều khiển Model-Based

## Phụ lục 5: Sơ đồ mô phỏng của phương pháp Adaptive NN

Graphical user interface, diagram

Description automatically generated

Hình 6.. Sơ đồ khối bộ điều khiển Adaptive Neural Network

Diagram, schematic

Description automatically generated

Hình 6.. Bộ điều khiển Adaptive Neural Network