

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP  
..... ୪୪୦ .....

NGUYỄN VĂN ĐÔ

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG  
THUẬT TOÁN CHẶT CÂN BẰNG CHO BÀI TOÁN  
ĐIỀU KHIỂN CÂN BẰNG XE HAI BÁNH**

**NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC  
KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

**TS. Vũ Ngọc Kiên**

**Thái Nguyên – năm 2020**

**LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi. Các kết quả, số liệu nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

*Thái nguyên, ngày 20/7/2020*

**Tác giả luận văn**

**Nguyễn Văn Đô**

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành, lời cảm ơn sâu sắc tới thầy giáo **TS. Vũ Ngọc Kiên**, người đã trực tiếp chỉ bảo và hướng dẫn em trong suốt thời gian qua.

Em xin bày tỏ lòng cảm ơn đối với các thầy cô giáo trong Khoa, bộ môn cùng đồng đạo bạn bè, đồng nghiệp đã cổ vũ rất nhiều cho việc thực hiện luận văn này.

Mặc dù được sự chỉ bảo sát sao của thầy hướng dẫn, sự nỗ lực cố gắng của bản thân. Song vì kiến thức còn hạn chế, nên chắc chắn luận văn này không tránh khỏi những thiếu sót nhất định. Em rất mong được sự chỉ bảo của các thầy cô giáo và sự góp ý chân thành của các bạn.

***Em xin chân thành cảm ơn!***

## MỞ ĐẦU

Tăng tốc độ xử lý và tính toán hiện nay là một hướng ưu tiên nghiên cứu trong lĩnh vực kỹ thuật. Để tăng tính toán, có một số hướng tiếp cận sau:

1. Sử dụng tối ưu thông lượng bộ nhớ cho các vi xử lý song song.
2. Phân rã các bài toán và lập trình song song theo nghĩa tính toán hiệu năng cao.
3. Quay về dùng các chip tương tự như mạng nơ ron tế bào (CNN)
4. Tìm cách giảm độ phức tạp của thuật toán mà vẫn đảm bảo sai số theo yêu cầu.

Giảm độ phức tạp của thuật toán chính là giảm bậc mô hình mà luận văn sẽ tập trung nghiên cứu.

Trong những năm gần đây, nghiên cứu về giảm bậc mô hình xe hai bánh tự cân bằng đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm. Một trong những khó khăn nhất của vấn đề nghiên cứu xe hai bánh là khả năng duy trì cân bằng ổn định trong những địa hình khác nhau. Trong đó, một vấn đề khó khăn là nghiên cứu điều khiển cân bằng xe hai bánh. Để giải quyết vấn đề cân bằng xe hai bánh, có ba phương pháp cơ bản như sau:

- (i) điều khiển cân bằng bằng bánh đà,
- (ii) điều khiển cân bằng sử dụng lực ly tâm
- (iii) điều khiển cân bằng cách thay đổi tâm của trọng lực

Trong số ba phương pháp đó, cân bằng nhờ sử dụng bánh đà có ưu điểm là đáp ứng nhanh và có thể cân bằng ngay cả khi xe không di chuyển.

Do xe hai bánh thường phải làm việc trong các điều kiện khác nhau, tải trọng mang theo có thể thay đổi, ngoại lực tác động vào xe có thể thay đổi nên việc mô hình hóa xe hai bánh tự cân bằng gặp nhiều khó khăn và có thể coi xe hai bánh là đối tượng bất định. Do tính chất bất định của mô hình xe hai bánh nên thuật toán điều khiển bền vững như trong nghiên cứu là thích hợp nhất.

Lý thuyết điều khiển  $H_\infty$  là một lý thuyết điều khiển hiện đại cho việc thiết kế các bộ điều khiển tối ưu và bền vững cho các đối tượng điều khiển có thông số thay

đổi hoặc chịu tác động của nhiễu bên ngoài. Tuy nhiên, thiết kế bộ điều khiển theo lý thuyết điều khiển  $H_\infty$ , bộ điều khiển thu được thường có bậc cao (bậc của bộ điều khiển được xác định là bậc của đa thức mẫu). Bậc của bộ điều khiển cao có nhiều bất lợi khi chúng ta đem thực hiện điều khiển trên xe hai bánh, vì mã chương trình phức tạp. Vì vậy, việc giảm bậc bộ điều khiển mà vẫn đảm bảo chất lượng có một ý nghĩa thực tiễn.

### **Mục tiêu nghiên cứu**

- Nghiên cứu và đánh giá ưu nhược điểm của các phương pháp giảm bậc mô hình.
- Nghiên cứu xây dựng mô hình xe hai bánh tự cân bằng và thiết kế hệ thống điều khiển cân bằng mô hình xe hai bánh.
- Ứng dụng thuật toán chặt cân bằng trong hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh.

### **Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

- Đối tượng: Các thuật toán giảm bậc mô hình, xe hai bánh tự cân bằng.
- Phạm vi nghiên cứu: Thuật toán chặt cân bằng cho hệ tuyến tính ổn định và không ổn định; bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh.

### **Phương pháp nghiên cứu**

- Thu thập nội dung các phương pháp giảm bậc mô hình, các thuật toán điều khiển cân bằng xe hai bánh thông qua sách, các tạp chí chuyên ngành và qua mạng internet.
- Lựa chọn thuật toán thuật toán giảm bậc mô hình có khả năng giảm bậc cả hệ ổn định và không ổn định.
- Lựa chọn thuật toán điều khiển cân bằng xe dựa trên khả năng hoạt động ổn định của xe hai bánh.

### **Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

Áp dụng thuật toán chặt cân bằng để giảm bậc bộ điều khiển bậc cao sẽ giúp giảm độ phức tạp của thuật toán điều khiển, giảm thông tin thừa, tăng tốc độ xử lý. Mô hình giảm bậc được sử dụng sẽ giúp xử lý tín hiệu một cách đơn giản, tăng tốc

độ tính toán, thiết kế hệ thống điều khiển đơn giản hơn đồng thời vẫn đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

**Nội dung cơ bản của luận văn gồm các chương sau:**

Chương 1: Tổng quan về giảm bậc mô hình.

Chương 2: Thuật toán giảm bậc mô hình.

Chương 3: Ứng dụng giảm bậc mô hình cho bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh.

Sau thời gian tìm hiểu và nghiên cứu và đặc biệt dưới sự hướng dẫn của Thầy *TS. Vũ Ngọc Kiên* luận văn của em đã được hoàn thành.

Trong quá trình thực hiện luận văn, chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong được sự chỉ bảo của các thầy giáo, cô giáo và sự góp ý chân thành của các bạn.

## MỤC LỤC

Nội dung	Trang
LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN .....	ii
MỞ ĐẦU .....	iii
MỤC LỤC .....	vi
Danh mục các bảng .....	viii
Danh mục các hình vẽ, đồ thị.....	ix
Danh mục các ký hiệu viết tắt.....	xii
<b>CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ GIẢM BẬC MÔ HÌNH .....</b>	<b>1</b>
1.1. Giới thiệu về giảm bậc mô hình.....	1
1.2 Bài toán giảm mô hình.....	2
1.3 Các phương pháp giảm bậc mô hình.....	3
1.3.1 Các nghiên cứu giảm bậc mô hình trên thế giới .....	3
1.3.2 Các nghiên cứu trong nước về giảm bậc .....	5
1.4 Kết luận chương 1 .....	6
<b>CHƯƠNG 2. THUẬT TOÁN GIẢM BẬC MÔ HÌNH.....</b>	<b>7</b>
2.1. Một số phép tính toán sử dụng trong giảm bậc mô hình .....	7
2.1.1 Một số phép phân tích ma trận.....	7
2.1.2 Gramian điều khiển và quan sát của hệ tuyến tính .....	7
2.2 Thuật toán chặt cân bằng cho hệ ổn định .....	9
2.3 Thuật toán chặt cân bằng cho hệ không ổn định.....	11
2.3.1 Gramian điều khiển và Gramian quan sát của hệ không ổn định .....	13
2.3.2 Thuật toán chặt cân bằng gián tiếp cho hệ không ổn định .....	16
2.3.3 Thuật toán chặt cân bằng trực tiếp của Zhou.....	17
2.4 Kết luận chương 2 .....	18
<b>CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG GIẢM BẬC MÔ HÌNH CHO BÀI TOÁN ĐIỀU</b>	
<b>KHIỂN CÂN BẰNG XE HAI BÁNH.....</b>	<b>20</b>
3.1 Mô hình xe hai bánh tự cân bằng.....	20

3.2. Mô hình hóa xe hai bánh tự cân bằng .....	21
3.3. Thiết kế bộ điều khiển bền vững $RH_\infty$ .....	28
3.3.1. Khái niệm cơ bản về lý thuyết điều khiển $RH_\infty$ .....	28
3.3.2. Mô tả không gian $H_\infty$ và $RH_\infty$ .....	29
3.3.3. Xác định tập $R(s)$ các bộ điều khiển làm hệ SISO ổn định.....	31
3.3.4 Tìm $R(s)$ trong $R(s)$ để hệ có độ nhạy nhỏ nhất.....	33
3.3.5. Thiết kế tối ưu $RH_\infty$ cho bài toán cân bằng xe hai bánh .....	34
3.4 Ứng dụng giảm bậc mô hình cho bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh .	42
3.4.1. Giảm bậc bộ điều khiển cân bằng xe hai bánh .....	42
3.4.2. Sử dụng bộ điều khiển giảm bậc để điều khiển cân bằng xe hai bánh ..	47
3.5 Kết luận chương 3 .....	61
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....	62
A. KẾT LUẬN .....	62
B. KIẾN NGHỊ .....	63
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	64



**Danh mục các bảng**

Tên bảng	Trang
Bảng 3.1. Các thông số của mô hình xe hai bánh tự cân bằng	21
Bảng 3.2 Kết quả giảm bậc phân hệ ổn định của bộ điều khiển bậc cao	43
Bảng 3.3 Kết quả giảm bậc bộ điều khiển bậc cao	43
Bảng 3.4 Kết quả giảm bậc bộ điều khiển bậc cao	45

### Danh mục các hình vẽ, đồ thị

Tên hình	Trang
Hình 3.1. Mô hình xe hai bánh tự cân bằng	20
Hình 3.2. Mô hình xe hai bánh từ cân bằng	21
Hình 3.3. Mô hình điều khiển bền vững	28
Hình 3.4. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển bền vững $RH_{\infty}$	30
Hình 3.5. Mô hình Simulink xe hai bánh tự cân bằng	38
Hình 3.6. Sơ đồ Simulink hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh tự cân bằng	38
Hình 3.7. Đáp ứng góc lệch $\theta$ của xe khi tham số mô hình danh định	39
Hình 3.8. Đáp ứng góc lệch $\theta$ của xe khi tham số mô hình thay đổi	40
Hình 3.9. Đáp ứng góc lệch $\theta$ của xe khi tham số mô hình thay đổi	41
Hình 3.10. Đáp ứng bước nhảy của bộ điều khiển gốc và các bộ điều khiển giảm bậc theo thuật toán chặt cân bằng gián tiếp	44
Hình 3.11. Đáp ứng tần số của bộ điều khiển gốc và các bộ điều khiển giảm bậc theo thuật toán chặt cân bằng gián tiếp	44
Hình 3.12. Đáp ứng bước nhảy của bộ điều khiển gốc và các bộ điều khiển giảm bậc theo thuật toán chặt cân bằng trực tiếp	46
Hình 3.13. Đáp ứng tần số của bộ điều khiển gốc và các bộ điều khiển giảm bậc theo thuật toán chặt cân bằng trực tiếp	46
Hình 3.14 Mô hình Simulink hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh	47
Hình 3. 15 Đáp ứng đầu ra của hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển gốc và bộ điều khiển bậc 5 theo thuật toán chặt cân bằng gián tiếp	48