

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

---

**MÃN XUÂN HẢI**

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU  
KHIỂN XE HAI BÁNH TỰ CÂN BẰNG**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Thái Nguyên, năm 2014**

## LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: **Mẫn Xuân Hải**

Sinh ngày 03 tháng 11 năm 1988

Học viên lớp cao học khoá 14 - Tự động hoá - Trường Đại học Kỹ thuật

Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại Công ty Cổ phần Đầu tư Bất động sản Hapulico.

Tôi xin cam đoan: đề tài “**Nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển xe hai bánh tự cân bằng**” do thầy giáo, TS. Nguyễn Duy Cương hướng dẫn là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Tất cả các tài liệu tham khảo đều có nguồn gốc, xuất xứ rõ ràng.

Tác giả xin cam đoan tất cả những nội dung trong luận văn đúng như nội dung trong đề cương và yêu cầu của thầy giáo hướng dẫn. Nếu sai tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm trước Hội đồng khoa học và trước pháp luật.

*Thái Nguyên, ngày      tháng      năm 2014*

**Tác giả luận văn**

**Mẫn Xuân Hải**

## LỜI CẢM ƠN

Sau sáu tháng nghiên cứu, làm việc khẩn trương, được sự động viên, giúp đỡ và hướng dẫn tận tình của thầy giáo hướng dẫn **TS. Nguyễn Duy Cường**, luận văn với đề tài “**Nghiên cứu thiết kế hệ thống điều khiển xe hai bánh tự cân bằng**” đã hoàn thành.

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến:

Thầy giáo hướng dẫn TS. Nguyễn Duy Cường đã tận tình chỉ dẫn, giúp đỡ tác giả hoàn thành luận văn này.

Khoa đào tạo Sau đại học, các thầy giáo, cô giáo thuộc bộ môn Kỹ thuật điện - Khoa Điện, phòng thí nghiệm Khoa Điện tử - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên đã giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập cũng như quá trình nghiên cứu thực hiện luận văn.

Toàn thể các đồng nghiệp, bạn bè, gia đình và người thân đã quan tâm, động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập và hoàn thành bản luận văn.

**Tác giả luận văn**

**Mẫn Xuân Hải**

## LỜI CẢM ƠN

**MỤC LỤC**

CHƯƠNG I. GIỚI THIỆU .....	1
1.1 Tại sao phải thiết kế xe hai bánh tự cân bằng [1] .....	1
1.2 Nguyên lý cân bằng của xe hai bánh (two wheels self balancing) [1].....	2
1.3 Ưu nhược điểm của xe hai bánh tự cân bằng [1] .....	3
1.3.1 Ưu điểm của xe hai bánh tự cân bằng.....	3
1.3.2 Nhược điểm của xe hai bánh tự cân bằng.....	4
1.4 Các khó khăn khi thiết kế bộ điều khiển cho xe hai bánh tự cân bằng .....	4
1.4.1 Tính phi tuyến, khả năng giữ thăng bằng và hiện tượng xen kênh.....	5
1.4.2 Bất định mô hình [2].....	5
1.5 Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước.....	5
1.5.1 Một số dạng xe hai bánh tự cân bằng dùng trên robot.....	6
1.5.1.1 nBot [3] .....	6
1.5.1.2 Balance bot I [4] .....	7
1.5.1.3 Balancing robot (Bbot [5]).....	7
1.5.1.4 JOE [6].....	8
1.5.1.5 Loại Robot phục vụ con người, kiểu rolling phục vụ con người của hãng TOYOTA	9
1.5.1.6 Segway [7] .....	10
1.5.1.7 Balancing scooter [9] .....	11
1.5.2 Mô hình toán [10] .....	12
1.5.3 Chiến lược điều khiển.....	12
1.6 Động lực cho việc sử dụng điều khiển PID thích nghi trực tiếp dựa trên cơ sở mô hình mẫu (Model Reference Adaptive Systems MRAS):.....	14
1.7 Thiết kế hệ thống điều khiển? Nhiệm vụ của tác giả? .....	15
Kết luận Chương I .....	16
Chương II: MÔ HÌNH TOÁN HỌC.....	17
Kết luận Chương II .....	23
Chương III: THIẾT KẾ VÀ MÔ PHỎNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID THÍCH NGHI TRỰC TIẾP DỰA TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH MẪU ĐỂ ĐIỀU KHIỂN XE HAI BÁNH TỰ CÂN BẰNG .....	24
3.1 Lý thuyết điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu MRAS.....	24

3.1.1 Lịch sử phát triển của hệ điều khiển thích nghi .....	24
3.1.2 Khái quát về hệ điều khiển thích nghi .....	26
3.1.3 Cơ chế thích nghi – thiết kế bộ điều khiển thích nghi dựa vào luật MIT: .....	32
3.2 Cấu trúc hệ thống với bộ điều khiển thích nghi trực tiếp dựa trên MRAS.....	51
3.3 Tính toán thông số .....	52
3.3.1 Tính toán thông số cho bộ điều khiển PID .....	52
3.3.2 Tính toán thông số cho bộ điều khiển PID thích nghi .....	53
3.4 Mô phỏng hệ thống .....	55
Kết luận Chương III.....	60
CHƯƠNG IV. THỰC NGHIỆM.....	61
4.1 Giới thiệu hệ thống xe hai bánh tự cân bằng .....	61
4.3 Cấu trúc điều khiển hệ thống .....	64
4.4 Sơ đồ điều khiển và các kết quả thực nghiệm .....	64
KẾT LUẬN – ĐÁNH GIÁ.....	67
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	68

**DANH MỤC HÌNH VẼ**

Hình 1.1: Trạng thái xe hai bánh đồng trục khi di chuyển trên địa hình bằng phẳng, dốc [1]2	
Hình 1.2: Mô tả nguyên lý giữ thăng bằng [1] .....	2
Hình 1.3: Mô tả cách bắt đầu di chuyển [1].....	3
Hình 1.4: nBot [3] .....	6
Hình 1.5: Balance-bot [4] .....	7
Hình 1.6: Balancing robot [5] .....	8
Hình 1.7: Hình chụp JOE [6] .....	9
Hình 1.8: Loại robot, kiểu Rolling của TOYOTA.....	10
Hình 1.9: Segway [7] .....	11
Hình 1.10: Xe 2 bánh tự cân bằng của Trevor Blackwell [9].....	12
Hình 2.1: Sơ đồ tự do của các bánh .....	18
Hình 2.2: Sơ đồ tự do của khung .....	20
Hình 3.1a: Hệ thích nghi tham số .....	30
Hình 3.1b: Hệ thích nghi tín hiệu .....	30
Hình 3.2: Điều khiển ở cấp 1 và cấp 2.....	32
Hình 3.3: Mô hình đối tượng và mô hình mẫu .....	33
Hình 3.4a: Sự thay đổi tham số $b_p$ dẫn tới sự thay đổi đáp ứng đầu ra.....	34
Hình 3.4b: Đáp ứng đầu ra của đối tượng ( $Y_p$ ), đáp ứng mô hình mẫu ( $Y_{p1}$ ) và sai lệch hai đáp ứng đầu ra ( $e$ ) khi thay đổi tham số $b_p$ .....	35
Hình 3.5a: Bộ điều khiển thích nghi dựa vào luật MIT theo tham số $K_b$ .....	35
Hình 3.5b: Kết quả việc thích nghi dựa vào luật MIT theo tham số $K_b$ .....	36
Hình 3.6: Kết quả việc thích nghi của $K_a$ và $K_b$ .....	38
Hình 3.7: Việc chỉnh định của $K_a$ và $K_b$ với tốc độ cao hơn của bộ thích nghi.....	39
Hình 3.8: Tính phi tuyến trong hệ thống điều khiển thích nghi. ....	40
Hình 3.9a: Hệ thống thích nghi được thiết kế theo phương pháp ổn định Liapunov. ....	47
Hình 3.9.b: Đáp ứng đầu ra của mô hình mẫu ( $Y_m$ ), mô hình đối tượng ( $Y_p$ ),.....	48
sai lệch ( $e$ ), và tham số chỉnh định ( $K_a$ , $K_b$ ).....	48
Hình 3.9.c: Hệ thống thích nghi được thiết kế theo phương pháp ổn định Liapunov có bù xung khâu tỷ lệ.....	49
Hình 3.9.d: Các đáp ứng nhận được khi tham số $K_a$ , $K_b$ bù xung khâu tỷ lệ.....	50

Hình 3.10: Cấu trúc xe hai bánh tự cân bằng với PID thường.....	51
Hình 3.11: Mô hình chi tiết với bộ điều khiển PID thích nghi trực tiếp cho 2 kênh .....	52
Hình 3.12: Cấu trúc mô phỏng với bộ PID thường cho hệ thống xe hai bánh .....	56
Hình 3.13: Kết quả mô phỏng với PID thường khi không có nhiễu.....	56
Hình 3.14: Kết quả mô phỏng với PID thường khi có nhiễu.....	57
Hình 3.15 Cấu trúc mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi .....	57
Hình 3.16: Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi khi không có nhiễu .....	58
Hình 3.17: Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi khi có nhiễu .....	58
Hình 3.18: Kết quả các hệ số thích nghi bộ điều khiển PID1 cho góc nghiêng .....	59
Hình 3.19: Kết quả các hệ số thích nghi bộ điều khiển PID2 cho độ di chuyển .....	59
Hình 4.1. Mô hình thực nghiệm.....	61
Hình 4.2: Hệ thực nghiệm.....	62
Hình 4.3: Một số hình ảnh phần cứng. ....	63
Hình 4.4: Cấu trúc điều khiển mô hình thực.....	64
Hình 4.5: Tín hiệu góc nhận về khi sử dụng và không sử dụng bộ lọc Kalman.....	65
Hình 4.6: Tín hiệu đặt và tín hiệu phản hồi. ....	65



## CHƯƠNG I. GIỚI THIỆU

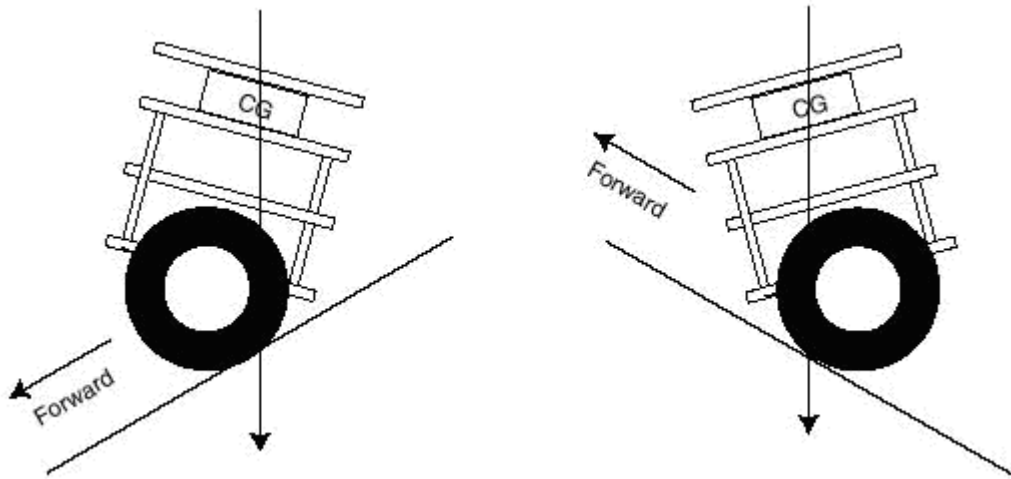
### 1.1 Tại sao phải thiết kế xe hai bánh tự cân bằng [1]

Với những robot di động, chúng thường được chế tạo với ba bánh: hai bánh lái được lắp ráp đồng trục và một bánh đuôi nhỏ. Có nhiều loại khác nhau nhưng đây là kiểu thông dụng nhất. Còn đối với các xe 4 bánh, thường một đầu xe có hai bánh truyền động và đầu xe còn lại được gắn một hoặc hai bánh lái.

Việc thiết kế ba hay bốn bánh làm cho xe/ robot di động được thăng bằng ổn định nhờ trọng lượng của nó được chia cho hai bánh lái chính và bánh đuôi, hay bất kỳ cái gì khác để đỡ trọng lượng của xe. Nếu trọng lượng được đặt nhiều vào bánh lái thì xe/robot sẽ không ổn định dễ bị ngã, còn nếu đặt nhiều vào bánh đuôi thì hai bánh chính sẽ mất khả năng bám.

Nhiều thiết kế xe/robot có thể di chuyển tốt trên địa hình phẳng, nhưng không thể di chuyển lên xuống trên địa hình lồi lõm (mặt phẳng nghiêng). Khi di chuyển lên đồi, trọng lượng xe/robot dồn vào đuôi xe làm bánh lái mất khả năng bám và trượt ngã, đối với những bậc thang, thậm chí nó dừng hoạt động và chỉ quay tròn bánh xe. Khi di chuyển xuống đồi, sự việc còn tệ hơn, trọng tâm thay đổi về phía trước và thậm chí làm xe/robot bị lật úp khi di chuyển trên bậc thang. Hình 1.1 trạng thái xe ba bánh khi di chuyển với độ dốc  $20^\circ$ .

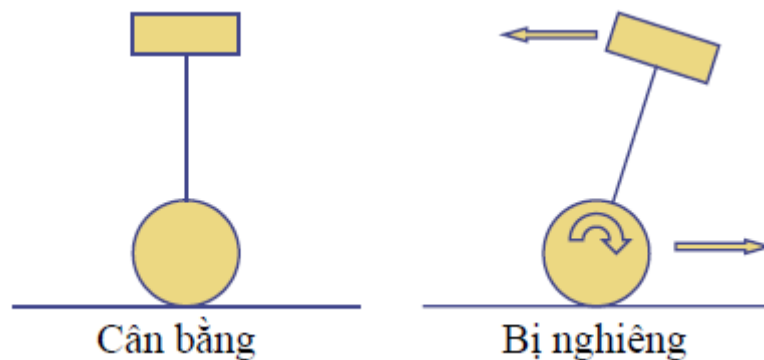
Ngược lại, các xe dạng hai bánh đồng trục lại thăng bằng rất linh động khi di chuyển trên địa hình phức tạp, mặc dù bản thân là một hệ thống không ổn định. Khi nó leo sườn dốc, nó tự động nghiêng ra trước và giữ cho trọng lượng dồn về hai bánh lái chính. Tương tự vậy, khi bước xuống dốc, nó nghiêng ra sau và giữ trọng tâm rơi vào các bánh lái. Chính vì vậy, không bao giờ có hiện tượng trọng tâm của xe rơi ra ngoài vùng đỡ của các bánh xe để có thể gây ra sự lật úp.



Hình 1.1: Trạng thái xe hai bánh đồng trục khi di chuyển trên địa hình bằng phẳng, dốc[1]

Đối với những địa hình lồi lõm và những ứng dụng thực tế, sự thăng bằng của xe hai bánh có thể sẽ mang lại nhiều ý nghĩa thực tiễn trong giới hạn ổn định hơn là đối với xe ba bánh truyền thống.

### 1.2 Nguyên lý cân bằng của xe hai bánh (two wheels self balancing) [1]



Hình 1.2: Mô tả nguyên lý giữ thăng bằng [1]

Đối với các xe ba hay bốn bánh, việc thăng bằng và ổn định của chúng là nhờ trọng tâm của chúng nằm trong bề mặt chân đế do các bánh xe tạo ra. Đối với các xe 2 bánh có cấu trúc như xe đạp, việc thăng bằng khi không di chuyển là hoàn toàn không thể, vì việc thăng bằng của xe dựa trên tính chất con quay hồi chuyển ở hai bánh xe khi đang quay. Còn đối với xe hai bánh tự cân bằng, là loại xe chỉ có hai