

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

ĐỖ TRIỀU DƯƠNG

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

Chuyên ngành: Tự động hóa

LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

Thái Nguyên, năm 2014

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: **Đỗ Triều Dương**

Sinh ngày 28 tháng 10 năm 1976

Học viên lớp cao học khoá 14 CH.TĐH 01 - Trường đại học kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại : Trường Cao Kỹ thuật Công nghiệp

Tôi xin cam đoan luận văn “**Thiết kế hệ thống điều khiển xe hai bánh tự cân bằng**” do thầy giáo **T.S Nguyễn Duy Cường** 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.

Tôi 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 có vấn đề gì trong nội dung của luận văn, tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm với lời cam đoan của mình.

Thái Nguyên, ngày 01 tháng 06 năm 2014

Học viên

Đỗ Triều Dương

LỜI CẢM ƠN

Sau thời gian nghiên cứu, làm việc khẩn trương và được sự hướng dẫn tận tình giúp đỡ của thầy giáo *T.S Nguyễn Duy Cường*, luận văn với đề tài “**Thiết kế hệ thống điều khiển xe hai bánh tự cân bằng**” đã được hoàn thành.

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

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

Các thầy cô giáo Trường Đại học kỹ thuật công nghiệp Thái Nguyên và một số đồng nghiệp, đã quan tâm động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập để hoàn thành luận văn này.

Mặc dù đã cố gắng hết sức, tuy nhiên do điều kiện thời gian và kinh nghiệm thực tế của bản thân còn ít, cho nên đề tài không thể tránh khỏi thiếu sót. Vì vậy, tác giả mong nhận được sự đóng góp ý kiến của các thầy giáo, cô giáo và các bạn bè đồng nghiệp.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Thái Nguyên, ngày....tháng....năm 2014

Tác giả

Đỗ Triều Dương

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
MỤC LỤC	iv
DANH MỤC CÁC HÌNH	v
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	vi
Lời nói đầu	1
CHƯƠNG I. GIỚI THIỆU	2
1.1 Tại sao phải thiết kế xe hai bánh tự cân bằng [1]	2
1.2 Nguyên lý cân bằng của xe hai bánh (two wheels self balancing) [1]	3
1.3 Ưu nhược điểm của xe hai bánh tự cân bằng [1]	4
1.3.1 Ưu điểm của xe hai bánh tự cân bằng	4
1.3.2 Nhược điểm của xe hai bánh tự cân bằng	5
1.4. Các khó khăn khi thiết kế bộ điều khiển cho xe hai bánh tự cân bằng	5
1.4.1. Tính phi tuyến, khả năng giữ thăng bằng và hiện tượng xen kênh	6
1.4.2. Bất định mô hình [2]	6
1.5 Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước	6
1.5.1 Một số dạng xe hai bánh tự cân bằng dùng trên robot	7
1.5.1.1 nBot [3]	7
1.5.1.2 Balance bot I [4]	8
1.5.1.3 Balancing robot (Bbot [5])	8
1.5.1.4 JOE [6]	9
1.5.1.5 Loại Robot phục vụ con người, kiểu rolling phục vụ con người của hãng TOYOTA	10
1.5.1.6 Segway [7]	11
1.5.1.7 Balancing scooter [9]	12
1.5.2. Mô hình toán [10]	12
1.5.3. Chiến lược điều khiển	13
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
1.8. Mong muốn đạt được.	16
Chương II: MÔ HÌNH TOÁN HỌC	18
Chương III	25
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	25
3.1. Lý thuyết điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu MRAS	25
3.1.1 Lịch sử phát triển của hệ điều khiển thích nghi	25
3.1.2. Khái quát về hệ điều khiển thích nghi	27
3.1.3 Cơ chế thích nghi – thiết kế bộ điều khiển thích nghi dựa vào luật MIT:	33
3.2. Cấu trúc hệ thống với bộ điều khiển thích nghi trực tiếp dựa trên MRAS	52
3.3. Tính toán thông số	54
3.3.1: Tính toán thông số cho bộ điều khiển PID	54
3.3.2: Tính toán thông số cho bộ điều khiển PID thích nghi	55
3.4. Mô phỏng hệ thống	57
CHƯƠNG IV: THỰC NGHIỆM	63
4.1 Giới thiệu hệ thống xe hai bánh tự cân bằng	64
4.2 Cấu trúc phần cứng.	65
4.1 Cấu trúc điều khiển hệ thống.	66
4.3: Sơ đồ điều khiển hệ TRMS thực và các kết quả thực nghiệm	66

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1 Trạng thái xe hai bánh đồng trục khi di chuyển trên địa hình bằng phẳng, dốc [1]	3
Hình 1.2 Mô tả nguyên lý giữ thăng bằng [1]	3
Hình 1.3 Mô tả cách bắt đầu di chuyển [1]	4
Hình 1.4 nBot [3]	7
Hình 1.5 Balance-bot [4]	8
Hình 1.6 Balancing robot [5]	9
Hình 1.7 Hình chụp JOE [6]	10
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	19
Hình 2.2: Sơ đồ tự do của khung	21
Hình 3.1a: Hệ thích nghi tham số	31
Hình 3.1b: Hệ thích nghi tín hiệu	31
Hình 3.2: Điều khiển ở cấp 1 và cấp 2	33
Hình 3.3: Mô hình đối tượng và mô hình mẫu	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	36
Hình 3.5a: Bộ điều khiển thích nghi dựa vào luật MIT theo tham số K_b	36
Hình 3.5b: Kết quả việc thích nghi dựa vào luật MIT theo tham số K_b	37
Hình 3.6: Kết quả việc thích nghi của K_a và K_b	39
Hình 3.7: Việc chỉnh định của K_a và K_b với tốc độ cao hơn của bộ thích nghi	40
Hình 3.8: Tính phi tuyến trong hệ thống điều khiển thích nghi	41
Hình 3.9a: Hệ thống thích nghi được thiết kế theo phương pháp ổn định Liapunov.	49
Hình 3.9b: Đáp ứng đầu ra của mô hình mẫu (Y_m), mô hình đối tượng (Y_p),	50
Hình 3.9.c: Hệ thống thích nghi được thiết kế theo phương pháp	51
Hình 3.9.d: Các đáp ứng nhận được khi tham số K_a , K_b bổ xung khâu tỷ lệ	52
Hình 3.10: Cấu trúc xe hai bánh tự cân bằng với PID thường	53
Hình 3.11: Mô hình chi tiết với bộ điều khiển PID thích nghi trực tiếp cho 2 kênh	54
Hình 3.12: Cấu trúc mô phỏng với bộ PID thường cho hệ thống xe hai bánh	58
Hình 3.13: Kết quả mô phỏng với PID thường khi không có nhiễu	58
Hình 3.14: Kết quả mô phỏng với PID thường khi có nhiễu	59
Hình 3.15: Cấu trúc mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi	60
Hình 3.16: Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi khi không có nhiễu	60
Hình 3.17: Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID thích nghi khi có nhiễu	61
Hình 3.18: Kết quả các hệ số thích nghi bộ điều khiển PID1 cho góc nghiêng	61
Hình 3.19: Kết quả các hệ số thích nghi bộ điều khiển PID2 cho độ di chuyển	62
Hình 4.1: Mô hình thực nghiệm	64
Hình 4.2: Hệ thực nghiệm	65
Hình 4.3: Một số hình ảnh phần cứng	66
Hình 4.4: Cấu trúc điều khiển mô hình thực	66
Hình 4.5: Tín hiệu góc nhận về khi sử dụng và không sử dụng bộ lọc Kalman	67
Hình 4.6: Tín hiệu đặt và tín hiệu phản hồi	67

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Tên tiếng Anh	Tên tiếng Việt
PID	Proportional- Intergral- Derivative	Tỷ lệ – Tích phân- Đạo hàm
DC	Direct Curent	Dòng một chiều
DC	Direct Control	Điều khiển trực tiếp
MRAS	Model Reference Adaptive Systems	Hệ thống thích nghi theo mô hình mẫu
SISO	Single Input Single Output	Hệ thống một đầu vào một đầu ra

Lời nói đầu

Xe hai bánh tự cân bằng là đối tượng phi tuyến, không ổn định và xen kênh rõ rệt. Do vậy, bài toán điều khiển xe hai bánh tự cân bằng là bài toán khá phức tạp. Vì vậy, áp dụng bộ điều khiển PID thích nghi trực tiếp trong bài toán điều khiển xe hai bánh sẽ hứa hẹn là một giải pháp hiệu quả góp phần nâng cao hiệu quả làm việc của xe hai bánh.

Hiện nay trong nước và trên thế giới đã có một số nghiên cứu điều khiển xe hai bánh tự cân bằng. Tuy nhiên, vẫn chưa thu được các kết quả như mong muốn. Chính vì lý do trên tác giả quyết định chọn đề tài:

“Thiết kế hệ thống điều khiển xe hai bánh tự cân bằng”.

Luận văn chia làm 4 chương:

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Mô hình toán của xe hai bánh tự cân bằng

Chương 3: Thiết kế bộ điều khiển PID thích nghi trực tiếp cho xe hai bánh tự cân bằng

Chương 4: Thực nghiệm tại Phòng thí nghiệm Điện – Điện tử, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

Mặc dù hết sức nỗ lực song do quỹ thời gian và kinh nghiệm khoa học còn nhiều hạn chế nên bản luận văn không tránh khỏi những thiếu sót, rất mong nhận được sự đóng góp của các thầy cô và các bạn đồng nghiệp!

CHƯƠNG I. GIỚI THIỆU

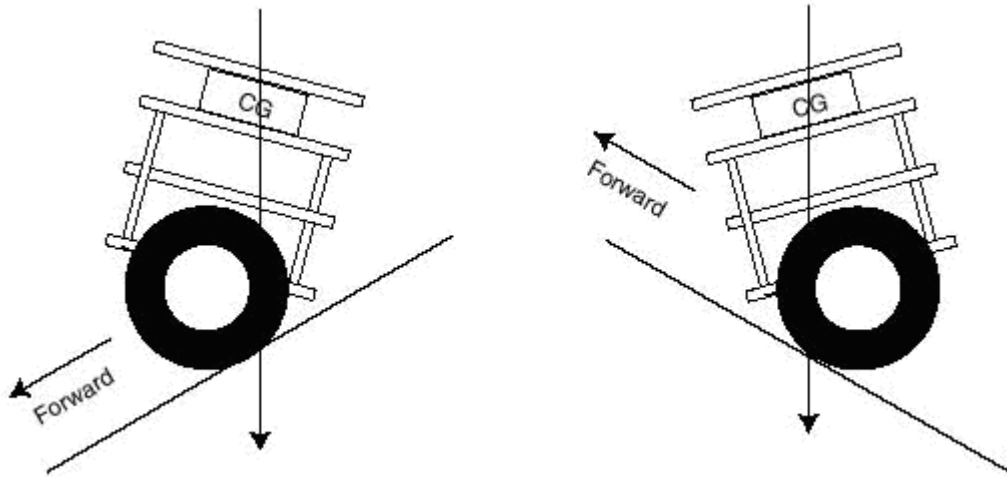
1.1 Tại sao phải thiết kế xe hai bánh tự cân bằng [1]

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° .

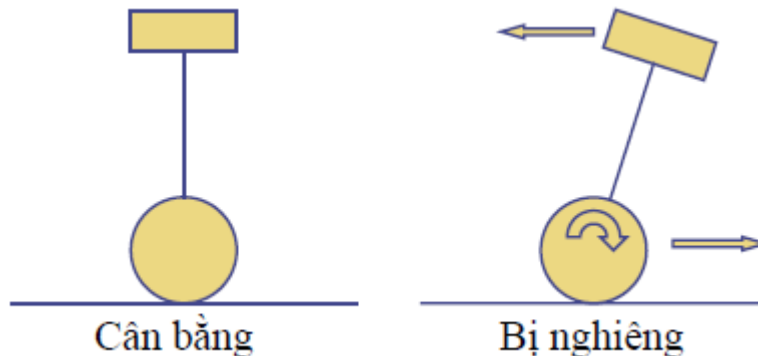
Ngược lại, các xe dạng hai bánh đồng trục lại thăng bằng rất linh động khi di chuyển trên địa hình phức tạp, mặc dù bản thân là một hệ thống không ổn định. Khi nó leo sườn dốc, nó tự động nghiêng ra trước và giữ cho trọng lượng dồn về hai bánh lái chính. Tương tự vậy, khi bước xuống dốc, nó nghiêng ra 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]



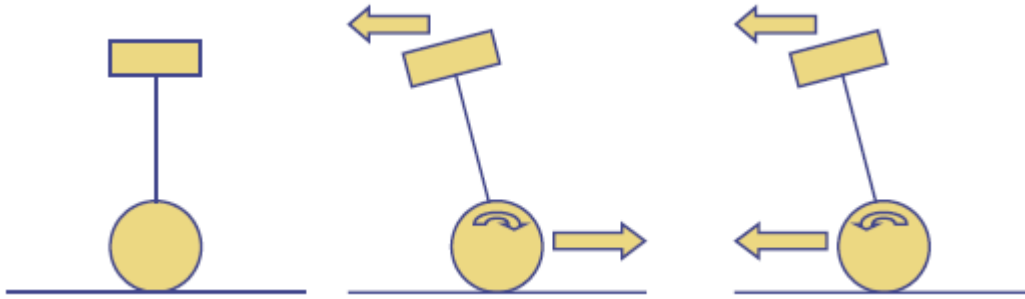
Hình 1.2 Mô tả nguyên lý giữ thăng bằng [1]

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 bánh với trục của hai bánh xe trùng nhau, để cho xe cân bằng, trọng tâm của xe (bao gồm cả người sử dụng chúng) cần được giữ nằm ngay giữa các bánh xe. Điều này giống như ta giữ một cây gậy dựng thẳng đứng cân bằng trong lòng bàn tay.

Thực ra, trọng tâm của toàn bộ xe hai bánh không được biết nằm ở vị trí nào, cũng không có cách nào tìm ra nó, và có thể không có khả năng di chuyển bánh xe đủ nhanh để giữ nó luôn ở dưới toàn bộ trọng tâm.

Về mặt kỹ thuật, góc giữa sàn xe hai bánh và chiều trọng lực có thể biết được. Do vậy, thay vì tìm cách xác định trọng tâm nằm giữa các bánh xe, tay lái cần được giữ thẳng đứng, vuông góc với sàn xe (góc cân bằng khi ấy là zero).



Hình 1.3 Mô tả cách bắt đầu di chuyển [1]

Nếu tay lái được đẩy hơi nghiêng tới trước, xe hai bánh sẽ chạy tới trước và khi nó được đẩy nghiêng ra sau, xe hai bánh sẽ chạy lùi. Đây là một phân tích lý tính. Hầu hết mọi người đều có thể kiểm soát tay lái trong vòng vài giây để giữ lấy nó.

Để dừng lại, chỉ cần kéo trọng tâm xe nghiêng ngược hướng đang di chuyển thì tốc độ xe giảm xuống. Do tốc độ cảm nhận và phản ứng thẳng bằng của mỗi người là khác nhau, nên xe hai bánh tự cân bằng chỉ được thiết kế cho một người sử dụng.

1.3 Ưu nhược điểm của xe hai bánh tự cân bằng [1]

1.3.1 Ưu điểm của xe hai bánh tự cân bằng

- Không ô nhiễm, sử dụng bình điện, và có thể sạc điện.
- Sử dụng không gian hiệu quả, đa năng (sử dụng trong nhà và ngoài phố).