

Giảng Dạy Thiết Kế Hệ Thống Cơ Điện Tử qua Đồ Án

Mechatronics System Design through Project – A Case Study

Nguyễn Tấn Tiến¹, Trần Thanh Tùng², và Kim Sang Bong³

¹Trường Đại học Bách khoa TP. HCM

²Trường Đại học Phạm Văn Đồng, Quảng Ngãi

³Đại học Quốc gia Pukyong, Busan, Korea

e-Mail: nttien@hcmut.edu.vn; tttung@pdu.edu.vn; kimsb@pknu.ac.kr

Tóm tắt

Bài báo trình bày kinh nghiệm trong giảng dạy môn học và đồ án thiết kế hệ thống cơ điện tử (HTCĐT) được triển khai tại Trường Đại học Bách khoa (ĐHBK). Quy trình thiết kế HTCĐT được giới thiệu, so sánh với quy trình thiết kế truyền thống. Một đầu bài ví dụ sử dụng giảng dạy tại ĐHBK được dùng minh chứng cho quá trình thiết kế và giảng dạy thiết kế HTCĐT.

Abstract

This paper presents an experience of teaching the course and the project of mechatronic system design at the Hochiminh City University of Technology (HCMUT). The mechatronic system design process is introduced compared to conventional design process. An example used for teaching at HCMUT is given as an illustration for the teaching of mechatronic system design process.

1. Giới thiệu

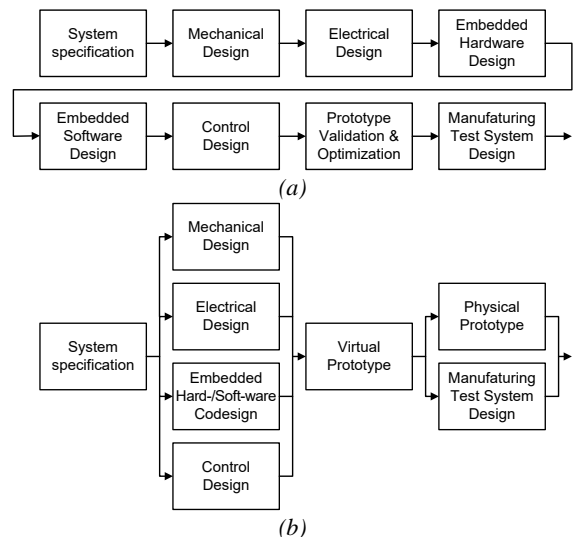
Thuật ngữ Cơ điện tử xuất hiện từ thập niên 70 cùng với bước tiến nhảy vọt của ngành công nghệ thiết kế và sản xuất tại Nhật bản. Tại Việt nam, Trường Đại học Bách khoa là một trong những đơn vị đầu tiên nơi đầu tiên đưa ngành này vào chương trình giảng dạy đại học và sau đại học.

Hệ thống cơ điện tử là một hệ thống phức tạp, tích hợp các phần điện, cơ, lý thuyết điều khiển, và công nghệ thông tin. Do đó, việc thiết kế đòi hỏi một quy trình thiết kế phù hợp và hiệu quả. Có rất nhiều tác giả nghiên cứu và đề xuất quy trình thiết kế cho một hệ thống cơ điện tử^[1,7,11,16,18,21], ở đây quy trình do National Instruments đề xuất được xem xét đến vì tính đơn giản và thực tế của quy trình.

Quá trình thiết kế truyền thống bao gồm các bước tuần tự như hình H.1.a: Xác định các yêu cầu kỹ thuật → Thiết kế cơ khí → Thiết kế điện → Thiết kế phần cứng mạch điện → Thiết kế phần mềm → Thiết kế bộ điều khiển → Thử nghiệm và tối ưu hóa sản phẩm mẫu → Thiết kế sản xuất → (sản xuất → support and service → sản xuất bền vững).

Quá trình thiết kế hệ thống cơ điện tử kế thừa mô hình tuần tự truyền thống với một số thay đổi như hình H.1.b: Xác định các yêu cầu kỹ thuật → Thiết kế đồng thời: cơ khí, điện, phần cứng/phần mềm, bộ điều khiển

→ Mẫu sản phẩm ảo → Đồng thời: Sản xuất mẫu thật, Thiết kế sản xuất → (sản xuất → support and service → sản xuất bền vững). Ở đây mẫu thật được sử dụng để thực nghiệm, hiệu chỉnh và tối ưu hóa thiết kế; Việc sử dụng mẫu ảo trong quá trình thiết kế trước khi sử dụng mẫu thật giúp giảm thiểu thời gian và kinh phí cho quá trình thiết kế sản phẩm.



H.1 Quy trình thiết kế (a) truyền thống, và (b) cơ điện tử^[1]

2. Giảng dạy thiết kế HTCĐT tại ĐHBK

Giảng dạy môn học Thiết kế hệ thống cơ điện tử (HTCĐT) cũng đã được nhiều tác giả quan tâm đến^[2,12,14], nội dung cụ thể của môn học tùy thuộc vào các khối kiến thức đã được học trước khi học môn học này.

Ngành cơ điện tử có thể nằm ở Khoa Cơ khí, Khoa Điện, Khoa Công nghệ thông tin, Khoa Khoa học ứng dụng hoặc tách riêng thành Khoa Cơ điện tử. Tùy thuộc vào ngành cơ điện tử nằm ở đâu mà cấu trúc chương trình đào tạo sẽ ít nhiều khác nhau. Đối với tình hình sản xuất ở Việt nam hiện nay, ngành Cơ điện tử nên nằm trong Khoa Cơ khí vì nó phục vụ chính cho nền công nghiệp sản xuất của đất nước. Tại ĐHBK, các môn học nền của ngành cơ điện tử là cơ khí. Việc tích hợp các kiến thức cơ với điện, với lý thuyết điều khiển, và với công nghệ thông tin đòi hỏi một môn học riêng và người dạy phải có chiều sâu về lý thuyết lẫn kiến thức chuyên môn thực tế để có thể tích hợp các kiến

thức riêng lẻ thành một khối xuyên suốt trong quá trình thiết kế sản phẩm. Tại ĐHBK, hai môn học chính của ngành Cơ điện tử là Thiết kế HTCDT và Đồ án Môn học Thiết kế HTCDT. Các kiến thức cơ bản được yêu cầu trước khi học môn học này là: nguyên lý máy, chi tiết máy, công nghệ chế tạo máy, lý thuyết điều khiển, vi điều khiển. Trong quá trình học môn này, sinh viên được chia làm nhóm 5 người thực hiện các công việc: (1) Quản lý dự án, (2) Thiết kế cơ khí, (3) Thiết kế điện, (4) Thiết kế mạch và viết chương trình, (5) Thiết kế bộ điều khiển. Các công việc sinh viên phải tiến hành khi thiết kế hệ thống cơ điện tử bao gồm

1. Xác định mục tiêu thiết kế

Xác định rõ mục tiêu thiết kế là gì?

2. Tìm hiểu tổng quan

Tìm hiểu các vấn đề liên quan đến mục tiêu thiết kế bao gồm: những sản phẩm đã có, những nghiên cứu trong và ngoài nước, các patent, ... cuối phần này phải đặt được bài toán cụ thể cho vấn đề thiết kế (system specification). Bài toán này càng cụ thể càng tốt. Một số số liệu thiết kế ban đầu có thể chưa chuẩn xác, có thể được đặt lại trong quá trình nghiên cứu.

3. Lựa chọn phương án

Từ đầu bài đã có, đề xuất các phương án khả thi và chọn phương án phù hợp nhất cho thiết kế. Kết quả của phần lựa chọn phương án là sơ đồ nguyên lý tổng thể cho thiết kế. Tùy thuộc vào mục tiêu đề ra, sơ đồ nguyên lý tổng thể có thể là một hoặc các sơ đồ nguyên lý phân cơ, điện, điều khiển, ... Đây là đầu bài cho phần thiết kế sau này. Sau khi thống nhất phương án, các thành viên trong nhóm thiết kế đều biết được mình sẽ làm gì cho bài toán thiết kế.

4. Xây dựng kế hoạch thiết kế

Dựa trên phương án đã lựa chọn, cả nhóm thiết kế cùng nhau xây dựng biểu đồ Gantt cho quá trình thiết kế, trong đó phân rõ các phần công việc sẽ thực hiện cho từng vai trò.

5. Thiết kế

Phần thiết kế bao gồm: Thiết kế cơ khí (mechanical design); Thiết kế điện (electrical design); Thiết kế mạch điều khiển và Chương trình điều khiển (embed hardware/software codesign), Thiết kế bộ điều khiển (control design). Kết quả của thiết kế là một mẫu ảo (virtual prototype). Mẫu ảo thiết kế được hiệu chỉnh dựa trên kết quả mô phỏng trước khi xuất bản vẽ kỹ thuật cho sản xuất mẫu thật (physical prototype).

6. Thực nghiệm và hiệu chỉnh

Dựa trên mẫu ảo thiết kế, mẫu thật được chế tạo để thực nghiệm và hiệu chỉnh thiết kế.

7. Xây dựng hồ sơ thiết kế

Thiết kế sau khi được test hoàn thiện trên sản phẩm mẫu sẽ được xuất hồ sơ thiết kế. Hồ sơ thiết kế bao gồm: Thuyết minh quá trình thiết kế như chọn phương án, tính toán, thiết kế, thực nghiệm, ...; Tập bản vẽ bao gồm: cơ khí, điện, ...; Phần mềm như: code thiết kế, điều khiển, mẫu 3D, ...

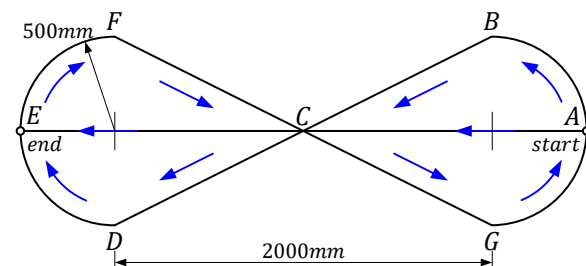
Trong môn học TKHTCDT, sinh viên sẽ không thực hiện phần *Thực nghiệm và hiệu chỉnh*, tuy nhiên vẫn phải thực hiện phần *Xây dựng hồ sơ thiết kế*. Kết quả để đánh giá môn học là bộ hồ sơ thiết kế của mỗi nhóm.

Đối với Đồ án Môn học TKHTCDT, toàn bộ các bước thiết kế trên đều được thực hiện. Ngoài bộ hồ sơ thiết kế, mỗi nhóm còn phải có một sản phẩm mẫu. Yêu cầu chính sau khi học môn học này là *biết cách triển khai một dự án thiết kế sản phẩm cơ điện tử* từ lúc lên ý tưởng thiết kế đến hoàn thành sản phẩm mẫu và hồ sơ thiết kế.

Phần 3 sẽ trình bày một đầu bài và kết quả trong quá trình giảng dạy môn học TKHTCDT của tác giả tại trường ĐHBK.

3. Case study: Thiết kế xe đua dò line

Đầu bài đặt ra: thiết kế một xe đua dò line với đường đua cho trước (Start) $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow E$ (End).



H.2 Đường đua sử dụng cho thiết kế xe đua bám line

3.1 Xác định mục tiêu thiết kế

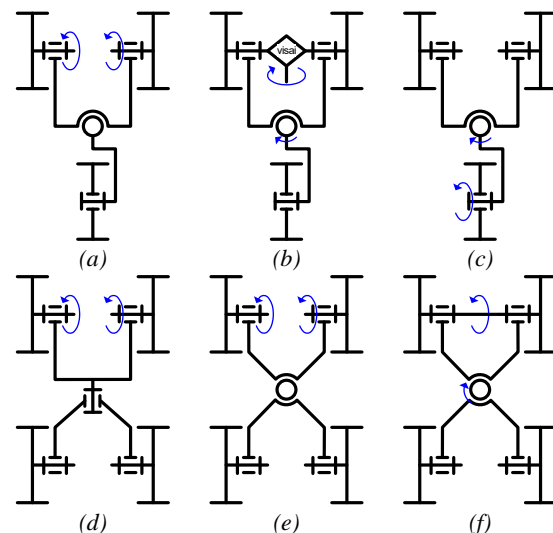
Xác định mục tiêu là: thiết kế xe đua bám đường đua cho trước và chạy với vận tốc nhanh nhất v_{max} .

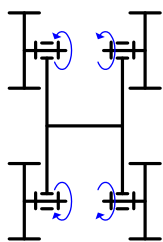
3.2 Tìm hiểu tổng quan

Nhiều mô hình cho các loại xe đua dò line đã được triển khai trong và ngoài nước, cho các cuộc đua cũng như cho giảng dạy thiết kế hệ thống cơ điện tử.

Về cơ khí

Có thể có nhiều cấu hình khác nhau cho bài toán mobile robot như: xe một bánh, hai bánh, xe ba bánh, xe bốn bánh, nhiều bánh, bánh xích, bánh omni, ... Tuy nhiên, để có thể đua, chỉ có cấu hình xe ba hoặc bốn bánh là khả thi và có thể biểu diễn trong hình H.3.



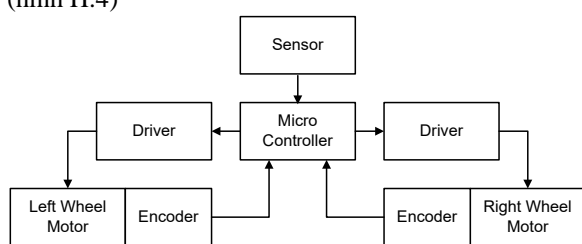


(f) Cấu trúc bốn bánh chủ động

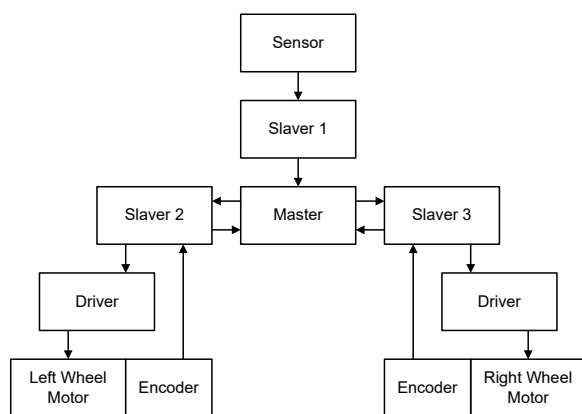
H.3 Sơ đồ nguyên lý một số loại xe dò line

Về cấu trúc điều khiển

Mạch điện xe dò line gồm các phần cơ bản chính bao gồm mạch cảm biến, mạch điều khiển và mạch lái động cơ. Hai phương pháp chính dùng kết nối các phần với nhau là điều khiển tập trung và điều khiển phân cấp (hình H.4)



(a) Tập trung



(b) Phân cấp

H.4 Cấu trúc hệ điều khiển xe đua

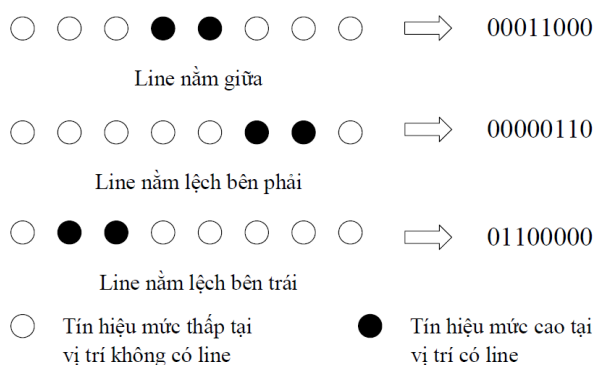
Trong điều khiển tập trung (hình H.4.a), một MCU duy nhất đồng thời: nhận và xử lý tín hiệu từ cảm biến; nhận và xử lý tín hiệu từ hai encoder; thực hiện chương trình chính, tính giá trị điều khiển và truyền cho hai động cơ. Đây là cấu trúc được sử dụng khá nhiều trong các xe đua dò line thực tế như xe CartisX04, Le'Mua (Robot Challenge 2015), Pika, ... Trong điều khiển phân cấp (hình H.4.b), một MCU được sử dụng như một master dùng tính toán cho chương trình điều khiển chính. Các slave còn lại sử dụng các MCU khác, thực hiện các tác vụ riêng biệt như: thu nhận và xử lý tín hiệu từ cảm biến, tính toán vị trí tương đối của xe so với line và truyền về cho master; thu nhận tín hiệu từ encoder, tính toán vận tốc điều khiển cho động cơ, đảm bảo cho động cơ hoạt động theo đúng yêu cầu của master; ... Tín hiệu trao đổi giữa các MCU có thể theo nhiều

chuẩn khác nhau: I2C, CAN, ... Cấu trúc này giúp giảm nhẹ khối lượng tính toán cho master và cho phép robot thực hiện nhiều tác vụ cùng lúc^[19,20]. Ưu điểm chính của cấu trúc hệ điều khiển phân cấp là chương trình điều khiển xử lý tín hiệu riêng biệt, dễ dàng cho tác vụ thiết kế nhóm, dễ dàng sửa lỗi và update code điều khiển khi phát triển sản phẩm; có khả năng xử lý nhiều tác vụ cùng lúc, giúp giảm thiểu thời gian lấy mẫu. Nhược điểm chính là tốn nhiều tài nguyên (4 MCU so với 1 MCU). Tuy nhiên điều này có thể loại bỏ vì sau khi hoàn thiện sản phẩm, việc tích hợp tất cả chương trình vào 1 MCU và đưa từ điều khiển phân cấp về điều khiển tập trung là bài toán tương đối dễ dàng.

Về cảm biến

Hầu hết các xe dò line hiện nay sử dụng các loại cảm biến quang để nhận biết vị trí tương đối của đường line so với xe. Hai phương pháp thường được sử dụng cho robot dò line là phương pháp sử dụng camera và các loại cảm biến quang dẫn. Camera được dùng^[3,5,17,19] ghi hình ảnh đường line thực tế, sau đó xử lý và đưa ra thông số độ sai lệch vị trí tương đối của xe so với line. Phương pháp này có thể đạt được độ chính xác cao, tuy nhiên ít được dùng trong các cuộc đua xe bấm line do tốc độ xử lý ảnh không cao, dẫn đến hạn chế tốc độ tối đa của xe. Cảm biến quang dẫn được dùng phổ biến hơn trong các cuộc thi robot dò line hiện nay, ví dụ như quang điện trở^[6] trong robot ALF trong cuộc thi ROBOCON 2006, hoặc phototransistor^[4,8,9] kết hợp với LED. Hai loại cảm biến này có nguyên tắc hoạt động giống nhau, bộ thu sẽ thu tín hiệu ánh sáng phản xạ từ bộ phát xuống mặt đất, từ đó xử lý để xác định vị trí của đường line. Mặc dù vậy, photo-transistor được ứng dụng nhiều hơn bởi nó cho thời gian đáp ứng nhanh hơn quang điện trở. Nhiều đội đua như Pika (ROBOXY 2015, ROBO ~ Motion 2015, ...), Silvestre, Bolt (Konkursie robotów SEP Gdańsk 2015), Thunderbolt, ... sử dụng photo-transistor cho bộ phận dò line.

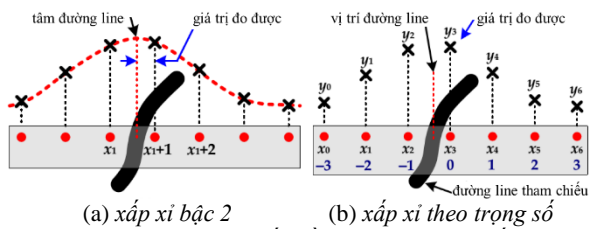
Đối với các loại cảm biến quang, tín hiệu tương tự từ cảm biến sẽ được hiệu chuẩn và xử lý bằng các giải thuật so sánh^[20] hoặc xấp xỉ^[15] để tìm ra vị trí tương đối của robot dò line với tâm đường line.



H.5 Xử lý tín hiệu bằng phương pháp so sánh

Phương pháp thứ nhất dùng bộ so sánh để xác định trạng thái đóng/ngắt của các sensor, sau đó suy ra vị trí xe theo một bảng trạng thái đã được định sẵn^[6,20] (hình

H.5). Sai số dò line phụ thuộc vào khả năng phân biệt các trạng thái của hệ thống, hay khoảng cách giữa các sensor. Phương pháp này phụ thuộc chủ yếu vào mức ngưỡng so sánh của các sensor, do đó tốc độ xử lý rất nhanh.



H.6 Xử lý tín hiệu cảm biến bằng phương pháp xấp xỉ [15]

Phương pháp thứ hai xấp xỉ vị trí cảm biến so với tâm đường line từ các tín hiệu tương tự từ cảm biến [15]. Các giải thuật xấp xỉ theo bậc 2, tuyến tính, theo trọng số (hình H.6) cho sai số dò line khác nhau. Thời gian xử lý phụ thuộc vào thời gian đọc ADC tất cả các sensor của vi điều khiển, do đó sẽ lâu hơn phương pháp thứ nhất, tuy nhiên độ chính xác cao hơn nhiều.

Về bộ điều khiển

Nhiều bộ điều khiển có thể được sử dụng cho bài toán xe đua bám line như: PD, PID, fuzzy, ... Ngoài ra, một số xe có áp dụng thêm khả năng ghi nhớ đường đi nhằm thay đổi các thông số điều khiển ứng với từng cung đường, giúp tăng khả năng đáp ứng của xe sau mỗi lần chạy như xe Silvestre và CartisX04. Tuy nhiên để áp dụng các giải thuật này, robot cần sử dụng thêm cảm biến gyro để nắm được trạng thái gia tốc của xe trong suốt quá trình chuyển động.

Bài toán thiết kế với các số liệu cụ thể

Với mục tiêu thiết kế và chế tạo xe dò line chạy nhanh và bám được sa bàn, các thông số cần được quan tâm: vận tốc tối đa của robot trên sa bàn, khả năng đổi hướng của robot, sai số tối đa của robot trong quá trình bám theo đường line. Về vận tốc tối đa, vận tốc cực đại trung bình của các robot như Pika, HBFS-2, Sylvestre, Thunderbolt, Thunderstorm, Impact, ... tại các cuộc thi đều đạt $1.5 \div 3m/s$. Về khả năng đổi hướng, ngoài việc robot có thể bám được bán kính cong $500mm$ (đoạn $G \rightarrow B$, $D \rightarrow F$ hình H.1) trên sa bàn, robot còn phải có khả năng bám theo đường line tại các vị trí line bị cắt đột ngột (điểm B, D, F, G hình H.1) và vị trí góc 90° (điểm A, E hình H.1). Về sai số tối đa của robot trong suốt quá trình, sai số trong quá trình xe di chuyển trên đường thẳng hay cong sẽ phụ thuộc vào sai số xác định vị trí của xe do hệ thống cảm và sai số do bộ điều khiển. Đối với sai số khi xe bám theo các vị trí đổi hướng đột ngột, sai số phụ thuộc phần lớn vào giải thuật điều khiển.

Từ các phân tích trên, đầu bài cụ thể được đặt ra như sau: *Thiết kế xe đua với đường đua cho trước, với các số liệu: bán kính cong nhỏ nhất, $\rho_{min} = 500mm$, sai số bám line lớn nhất, $e_{max} = \pm 5mm$, vận tốc dự kiến, $v_{max} = 1.5m/s$*

3.3 Phương án triển khai

Với đầu bài xác định ở trên, có nhiều phương án khả thi thích hợp được chọn như sau

Về cơ khí

Xe bốn bánh, trong đó hai bánh chủ động, hai bánh còn lại là castor (hình H.4.d).

Về cấu trúc điều khiển

Điều khiển phân cấp.

Về cảm biến

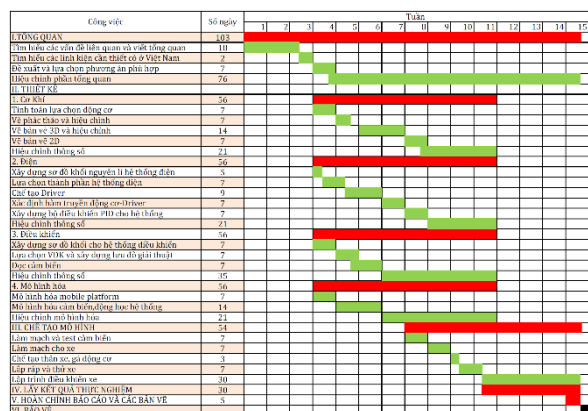
Cảm biến analogue.

Về bộ điều khiển

Bộ điều khiển bám line theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov.

3.4 Xây dựng kế hoạch thiết kế

Với phương án triển khai dự kiến đã được xác định ở trên, kế hoạch triển khai dự án thiết kế được thiết lập.



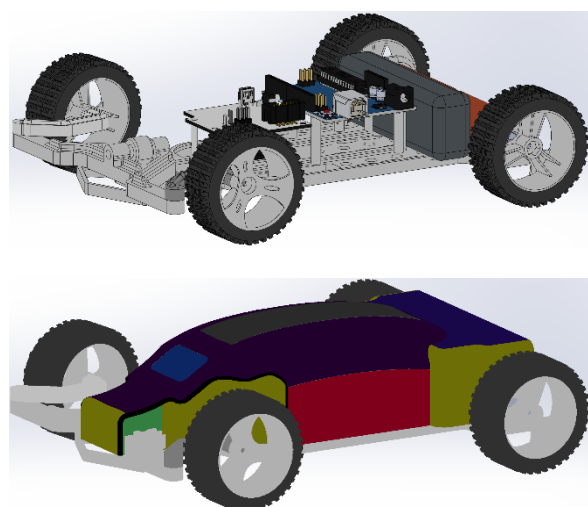
H.7 Biểu đồ kế hoạch thiết kế

3.5 Thiết kế

Mỗi sinh viên tiến hành công việc thiết kế được phân công theo kế hoạch. Quản lý dự án chịu trách nhiệm điều phối công việc chung, làm thư ký cho dự án và hỗ trợ các thành viên khác nhằm đảm bảo dự án được triển khai đúng tiến độ.

Về cơ khí

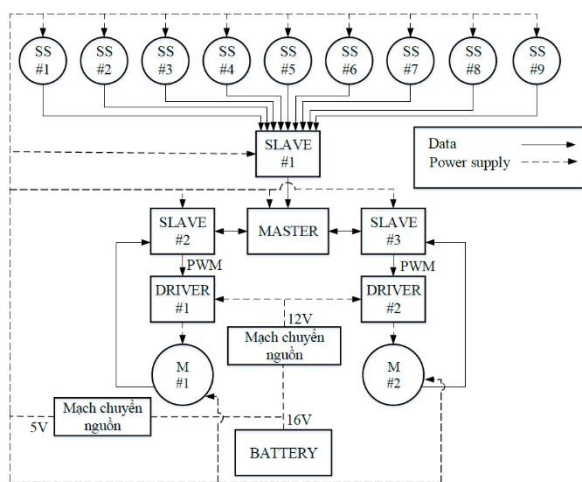
Từ sơ đồ nguyên lý xe lựa chọn, thiết kế 3D của xe được thực hiện, kết quả cho ở hình H.8. Xe có thể được chế tạo sử dụng in 3D hoặc cắt meca bằng laser, kết hợp với các phương pháp gia công thông dụng như tiện, pha, khoan, ...



H.8 Mô hình xe đua thiết kế

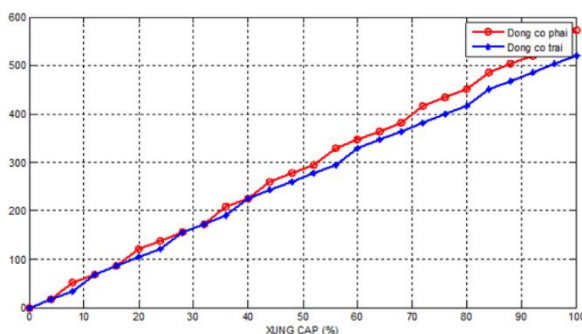
Về điện

Mạch điện được thiết kế theo sơ đồ khối như hình H.9, bao gồm mạch vi điều khiển, mạch công suất, cảm biến, ...

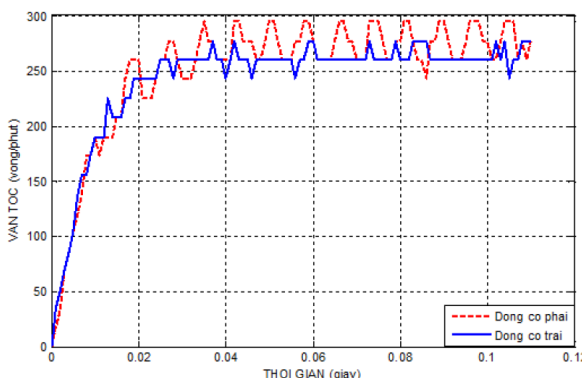


H.9 Sơ đồ khối hệ thống điện

Mạch điều khiển động cơ được thiết kế và thực nghiệm để xác định đáp ứng của từng động cơ. Ở đây phải chú ý kiểm tra thời gian đáp ứng của động cơ phải nhỏ hơn sampling time chung của hệ thống.



(a) Liên hệ giữa xung cấp và vận tốc của hai động cơ

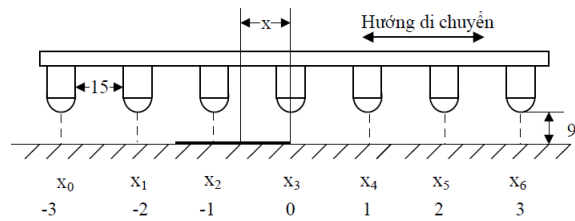


(b) Thời gian đáp ứng của hai động cơ tại giá trị duty cycle của PWM là 50%

H.10 Khảo sát áp ứng động cơ với mạch driver thiết kế

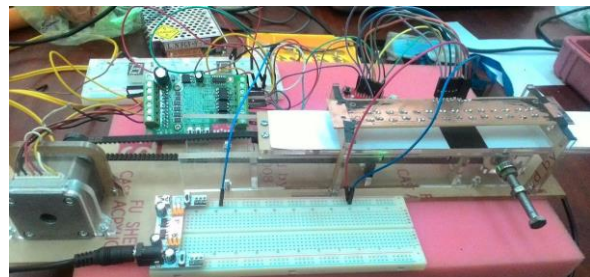
Về cảm biến

Phototransistor TCRT5000 được sử dụng để xác định vị trí tương đối của xe so với đường line. Phương pháp xử lý xấp xỉ được sử dụng.

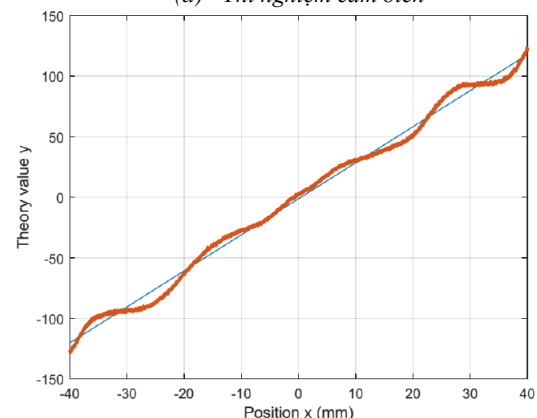


H.11 Sơ đồ khối hệ thống điện

Một số thí nghiệm được thực hiện: (1) Đo thời gian đọc và xử lý tín hiệu từ cảm biến của vi điều khiển; (2) Xác định khoảng cách phù hợp giữa cảm biến và mặt đường; (3) Xác định khoảng cách phù hợp giữa 2 cảm biến; (4) Xác định số lượng LED sử dụng.



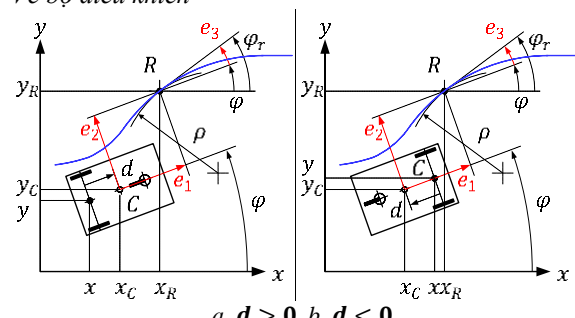
(a) Thí nghiệm cảm biến



(b) Kết quả xấp xỉ tuyến tính cảm biến

H.12 Thí nghiệm cảm biến dò line

Về bộ điều khiển



a. $d > 0$ b. $d < 0$

H.13 Định nghĩa sai số dò line cho mô hình hóa hệ thống

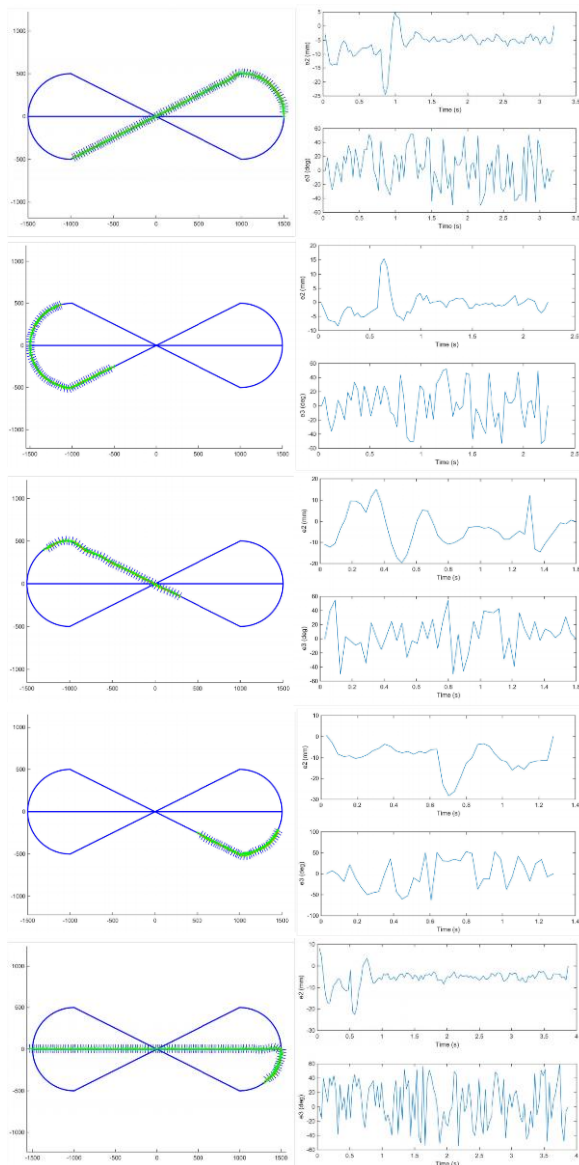
Bộ điều khiển bám line theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov được sử dụng^[3]. Trước hết, sai số dò line được định nghĩa để mô hình hóa hệ thống

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_R \cos e_3 \\ v_R \sin e_3 \\ \omega_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & e_2 \\ 0 & -d - e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bộ điều khiển tracking cho xe

$$\begin{cases} \mathbf{v} = \mathbf{v}_R \cos \mathbf{e}_3 + \mathbf{k}_1 \mathbf{e}_1 \\ \boldsymbol{\omega} = \mathbf{k}_2 \mathbf{v}_R \mathbf{e}_2 + \boldsymbol{\omega}_R + \mathbf{k}_3 \sin \mathbf{e}_3 \end{cases} \quad (2)$$

Trong bộ điều khiển này, $\mathbf{v}_0 \approx \mathbf{v}_R$, do đó sai số \mathbf{e}_1 có thể set bằng zero. Sai số $\mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ được đo từ cảm biến.



H.14 Kết quả mô phỏng xe đua chạy bám line và sai số qua các đoạn khác nhau của đường đua

3.6 Chế tạo mẫu và thực nghiệm

Mẫu được chế tạo và thực nghiệm. Từ các dữ liệu thực nghiệm, nhóm thiết kế đánh giá kết quả, đề xuất các cải tiến, hiệu chỉnh các thiết kế. Sau khi hiệu chỉnh, thực nghiệm lại mẫu để khẳng định thiết kế lần cuối.

3.7 Xây dựng hồ sơ thiết kế

Hồ sơ thiết kế được xây dựng bao gồm

Bản vẽ thiết kế

- Bản vẽ cơ khí: bản vẽ lắp, bản vẽ chi tiết
- Bản vẽ điện: mạch điện, bản vẽ nối dây

Thuyết minh

- Bản thuyết minh tóm tắt toàn bộ thiết kế

4. Kết luận

Bài báo trình bày kinh nghiệm giảng dạy môn học Thiết kế và Đồ án Thiết kế HTCĐT tại ĐHBK. Với việc triển khai giảng dạy từng bước như trên, môn học đảm bảo chuyên được tinh thần thiết kế HTCĐT: tích hợp các thành phần cơ, điện, hardware/software và bộ điều khiển xuyên suốt trong quá trình thiết kế. Thông qua môn học sinh viên nắm được cách tiếp cận và giải quyết vấn đề theo đúng tinh thần tích hợp của Thiết kế HTCĐT.

Tài liệu tham khảo

- [1] National Instruments and SolidWorks, *Incorporating Mechatronics into Your Design Process*, White Paper, pp.1-12, 2016
- [2] Farhan A. Salem, *The Role of Modeling, Simulation and Analysis Stage in Mechatronics Systems Design Education*, Journal of Multidisciplinary Eng. Science and Technology, Vol.2, Issue 10, pp.2700-2715, 2015
- [3] Huu Danh Lam et. al., *Smooth Tracking Controller for AGV through Junction using CMU Camera*, Tuyển tập HN Cơ điện tử lần 7, VCM-2014, pp.597-601, Vietnam, 2014
- [4] F. Kaiser et.al., *Line Follower Robot: Fabrication and Accuracy Measurement by Data Acquisition*, Proc. of The Int'l Conf. on Electrical Eng. and Information & Communication Technology, pp.1-6, Bangladesh, 2014
- [5] G. H. Lee et. al., *Line Tracking Control of a Two-Wheeled Mobile Robot Using Visual Feedback*, Int'l Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.10, pp.177-2013, 2013
- [6] M.S. Islam & M. A. Rahman, *Design and Fabrication of Line Follower Robot*, Asian Journal of Applied Science and Eng., Vol.2, No.2, pp.27-32, 2013
- [7] K. Janschek, *Mechatronic Systems Design: Methods, Models, Concepts*, Springer, 2012
- [8] Mustafa Engin et. al., *Path Planning of Line Follower Robot*, Proc. of The 5th European DSP Education and Research Conference, pp.1-5, Amsterdam, Dutch, 2012
- [9] Khin Hooi Ng et. al., *Adaptive Phototransistor Sensor for Line Finding*, Int'l Symp. on Robotics and Intelligent Sensors, pp.237-243, Malaysia, 2012
- [10] Ramiro Velázquez et. al., *A Review of Models and Structures for Wheeled Mobile Robots: Four Case Studies*, Proc. of The 15th Int'l Conf. on Advanced Robotics, pp.524-529, Estonia, 2011
- [11] E.K. Boukas and F.M. AL-Sunni, *Mechatronic Systems: Analysis, Design and Implementation*, Springer, 2011
- [12] A. Saleem, Tutunji and L. Al-Sharif, *Mechatronic System Design Course for Undergraduate Programmes*, European Journal of Engineering Education, Vol.36, No.4, pp.341-356, 2011

- [13] T.J. van Beek, M.S. Erden, T. Tomiyama, *Modular Design of Mechatronic Systems with Function Modeling*, Mechatronics Journal, pp.850-863, 2010
- [14] W.J. Shyr, *Teaching Mechatronics: An Innovative Group Project-Based Approach*, Computer Applications in Eng. Education, Vol.20, Issue 1, pp. 93-102, 2010
- [15] J.H. Su et. al., *An Intelligent Line-Following Robot Project for Introductory Robot Courses*, World Transactions on Eng. and Technology Education, Vol.8, No.4, pp.455-461, 2010
- [16] D. Shetty and R.A. Kolk, *Mechatronics System Design*, 2Ed., Global Engineering, 2010
- [17] A. H. Ismail et. al., *Vision-based System for Line Following Mobile Robot*, IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, pp.642-645, Malaysia, 2009
- [18] V.S. Vasić and M.P. Lazarević, *Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design*, FME Transactions Vol.36, pp.103-108, 2008
- [19] Andrew Reed Bacha, *Line Detection and Lane Following for an Autonomous Mobile Robot*, MS Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005
- [20] M. Zafri Baharuddin et. al., *Analysis of Line Sensor Configuration for the Advanced Line Follower Robot*, Universiti Tenaga Nasional, pp.1-12, Malaysia, 2005
- [21] G. Rzevski, *On Conceptual Design of Intelligent Mechatronic Systems*, Mechatronics Journal, Vol.13, Issue 10, pp.1029-1044, 2003



Nguyễn Tấn Tiến sinh năm 1968, nhận bằng kỹ sư Cơ khí Chế tạo máy của trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM (HCMUT) năm 1990, nhận bằng Thạc sỹ Cơ điện tử năm 1998 và Tiến sỹ Cơ điện tử năm 2001 của Trường ĐHQG Pukyong, Hàn quốc. Từ năm 1990 anh là giảng viên Bộ môn Thiết kế máy và từ năm 2005 là giảng viên Bộ môn Cơ điện tử, HCMUT. Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay: lý thuyết điều khiển, humanoid robot, hệ thống cơ điện tử và ứng dụng trong lĩnh vực tự động hóa công nghiệp.



Trần Thanh Tùng sinh năm 1984, nhận bằng kỹ sư Cơ điện tử tại trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng năm 2007. Từ năm 2009 anh là giảng viên Khoa Kỹ thuật Công nghệ, trường Đại học Phạm Văn Đồng. Lĩnh vực nghiên cứu hiện nay: điều khiển nhà kính, thiết kế hệ thống cơ điện tử và ứng dụng.



Prof. Sang Bong Kim was born in Korea on August 6, 1955. He received the B.S. and M.S. degrees from National Fisheries University of Pusan, Korea in 1978 and 1980. He received PhD. degree in Tokyo Institute of Technology, Japan in 1988. From 1988, he is a Professor of the Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea. Prof. Kim Sang Bong is well-known in field of mechatronics engineering. His interest research fields include theory and industrial applications in robust control, biomechanical control, and mobile robot control