

Tối ưu hóa thiết kế các hệ thống cơ điện tử sử dụng kỹ thuật mẫu ảo

Lê Ngọc Trân

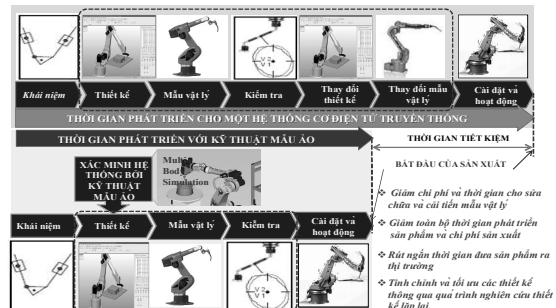
Tóm tắt — Theo phương pháp thiết kế truyền thống, để chế tạo một hệ thống cơ điện tử, từ ý tưởng ban đầu, người thiết kế sẽ thiết kế hệ thống bởi phần mềm CAD (Computer-Aided-Design) sau đó sẽ đi chế tạo phần cứng, cuối cùng hệ thống sẽ được kiểm tra dựa trên sự hoạt động. Nếu hệ thống hoạt động không đúng, thiết kế sẽ phải thay đổi và phần cứng phải gia công lại. Phương pháp này gây tốn nhiều thời gian và chi phí cho việc sửa chữa và gia công phần cứng nhiều lần. Để tiết kiệm thời gian thiết kế và giảm chi phí gia công phần cứng cũng như giúp tối ưu hóa quá trình thiết kế các hệ thống cơ điện tử, bài báo này giới thiệu một mô hình kỹ thuật mẫu ảo trên máy tính cho phép thực hiện và tối ưu hóa các thiết kế trước khi triển khai chế tạo phần cứng. Dựa trên khái niệm hoạt động, hệ thống cơ điện tử sẽ được thiết kế trên SOLIDWORKS và sau đó xuất sang môi trường ADAMS (Automated Dynamic Analysis of Mechanical System), những phần tử mềm dẻo cũng được mô hình hóa và phân tích trong môi trường ANSYS sau đó xuất sang phần mềm ADAMS. Quá trình mô phỏng trong môi trường ADAMS sẽ khám phá hành vi động lực học của hệ thống và thiết kế sẽ được hiệu chỉnh. Mô hình mẫu ảo sau đó sẽ được xuất sang môi trường MATLAB/Simulink để áp dụng chiến lược điều khiển. Kết quả mô phỏng tích hợp trong nhiều ngữ cảnh sẽ đánh giá tính hiệu quả của hệ thống để xuất trước khi chế tạo phần cứng.

Từ khóa—Kỹ thuật mẫu ảo, hệ thống cơ điện tử, điều khiển thông minh, tối ưu hóa thiết kế.

1 GIỚI THIỆU

Ngày nay sự phát triển mạnh mẽ của các ngành công nghiệp như sản xuất xe hơi, đóng tàu, và các nhà máy sản xuất các thiết bị phụ trợ cho các ngành công nghiệp này,...đòi hỏi tăng

hiệu suất sản xuất, giảm thời gian của quá trình gia công lắp ráp, giảm chi phí sản xuất, nhân công, sản phẩm khuyết tật cũng như chi phí bảo dưỡng và bảo trì. Để đáp ứng những nhu cầu cấp thiết đó, việc thiết kế, chế tạo các hệ thống cơ điện tử, những cánh tay robot phải được tối ưu rút ngắn thời gian và giảm chi phí. Theo phương pháp thiết kế và chế tạo một hệ thống cơ điện tử truyền thống, từ ý tưởng hệ thống ban đầu người thiết kế sẽ thiết kế hệ thống bởi phần mềm CAD sau đó sẽ đi gia công và chế tạo phần cứng, cuối cùng họ kiểm tra hoạt động của hệ thống. Nếu hệ thống hoạt động không đúng, thiết kế sẽ phải thay đổi và phần cứng phải gia công lại, cuối cùng hệ thống phải được kiểm tra và chạy thử. Phương pháp này gây tốn nhiều thời gian và chi phí cho việc sửa chữa và gia công phần cứng nhiều lần. Để tiết kiệm thời gian và tối ưu hóa quá trình thiết kế chúng tôi đề xuất kỹ thuật mẫu ảo cho thiết kế và tối ưu các hệ thống cơ điện tử



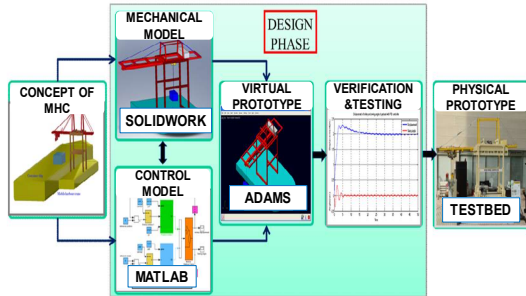
Hình 1. So sánh phương pháp truyền thống và kỹ thuật mẫu ảo trong thiết kế hệ thống robot

Để tối ưu các hệ thống cơ điện tử, trước tiên đặc tính, hành vi, và các thông số của hệ thống cơ khí phải được khám phá dựa trên mô phỏng ảo trên máy tính trong điều kiện như trong ngữ cảnh thật. Kỹ thuật này là một giải pháp tích hợp phần mềm thực hiện các nhiệm vụ như: mô hình hóa các hệ thống cơ khí, mô phỏng và quan sát hành vi động lực học của hệ thống trên môi trường 3D dưới điều kiện hoạt động như trong ngữ cảnh thật, tinh chỉnh và tối ưu thiết kế dựa trên các thử nghiệm lặp đi lặp lại [1]. Ưu điểm của kỹ thuật này là tạo ra một mô

Bài báo này được gửi vào ngày 01 tháng 06 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 01 tháng 10 năm 2017.

Lê Ngọc Trân, Khoa Cơ khí, Đại học Bà Rịa-Vũng Tàu (email: lengoctranbv@gmail.com)

hình chi tiết được sử dụng trong thí nghiệm ảo trên máy tính cách thức tương tự như trong ngữ cảnh thật. Trong kỹ thuật này cho phép thực hiện đo bất kỳ thông số nào của bất kỳ chi tiết nào của mô hình cơ khí một cách thuận tiện nhờ các cảm biến ảo trong phần mềm. Hình 2 giới thiệu một mẫu ảo cho nghiên cứu hệ thống cần cấu di động trên cảng [2]



Hình 2. Xây dựng mẫu ảo cho nghiên cứu hệ thống cần cấu di động [2]

Trong kỹ thuật này quá trình thiết kế cơ khí và thiết kế điều khiển được thực hiện trong các giai đoạn riêng biệt bởi các phần mềm khác nhau. Sau khi thiết kế mỗi mô hình phải được kiểm tra và điều chỉnh sao cho thỏa mãn các mục tiêu mong muốn, cuối cùng một mô hình kết hợp sẽ được thực hiện và được kiểm tra hoạt động dựa trên mô phỏng trên máy tính, nếu có bất kỳ sự cố xuất hiện khi hệ thống hoạt động, người thiết kế phải điều chỉnh thiết kế cơ khí hoặc thiết kế điều khiển để đạt được một hệ thống hoàn chỉnh. Khi sử dụng kỹ thuật này, công đoạn cuối cùng kiểm tra trên mẫu vật lý đơn giản hơn, giảm nguy cơ rủi ro hỏng hóc thiết bị khi hệ thống bị xung đột. Phương pháp này tiết kiệm thời gian cũng như chi phí so với phương pháp thiết kế truyền thống trên mẫu vật lý.

2 PHƯƠNG PHÁP KỸ THUẬT MẪU ẢO TRONG THIẾT KẾ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

Kỹ thuật mẫu ảo là phương pháp sử dụng phần mềm tích hợp trên máy tính nhằm mô hình hóa hệ thống cơ khí, mô phỏng hành vi động lực học để khám phá chuyển động của các cơ cấu cơ khí, thiết kế hệ thống điều khiển, và kiểm tra hoạt động của hệ thống dựa trên giải thuật điều khiển sao cho hệ thống hoạt động hoàn thiện nhất. Hình 3 trình bày kiến trúc phần mềm trong kỹ thuật mẫu ảo. Kỹ thuật mẫu ảo tích hợp các phần mềm sau:

- Phần mềm thiết kế hệ thống cơ khí CAD (SOLIDWORKS, CATIA, PROENGINEER): Sử dụng để thiết kế hệ thống cơ khí, bao gồm các chi tiết cứng (không biến dạng) với hình dạng và kích thước của mẫu vật lý. Mô hình cơ khí này chứa

những thông tin về khối lượng và thuộc tính quán tính của những chi tiết cứng này. Môi trường CAD cũng có thể thực hiện kiểm tra những chuyển động đơn giản với lực và mô men. Sau đó, mô hình hình học này được chuyển từ môi trường CAD sang môi trường mô phỏng nhiều thành phần (MBS-Multi Body Simulation) sử dụng định dạng file như là STEP (CATIA) hoặc Parasolid.x_t (SOLIDWORKS).

- Phần mềm mô phỏng động lực học nhiều thành phần MBS: Multi-Body Simulation (ADAMS, SD-EXACT, PLEXUS): là thành phần trung tâm của nền tảng mẫu ảo. Nó được sử dụng để phân tích, tối ưu và mô phỏng hành vi động lực học của hệ thống cơ khí dưới điều kiện hoạt động thật.

- Phần mềm phân tích phần tử hữu hạn FEA: Finite Element Method (ANSYS, ABAQUS): mô hình hóa các thành phần mềm dẻo và biến dạng. MBS chuyển tải đến FEA và nhận thông tin phản hồi từ các thành phần mềm dẻo từ FEA. Đặc điểm này cho phép nắm bắt quán tính và các ảnh hưởng phù hợp, và dự đoán tải với độ chính xác cao, do đó đạt được nhiều kết quả hiện thực.

- Câu lệnh và điều khiển (MATLAB) là phần mềm sử dụng để thiết kế hệ thống điều khiển. Phần mềm này trao đổi thông tin với phần mềm MBS. Quá trình trao đổi tạo một hệ thống điều khiển vòng kín trong đó đầu ra từ mô hình MBS là đầu vào cho hệ thống điều khiển và ngược lại. Đầu ra từ mô hình MBS là các thông số đo những thông số mà cần thiết cho điều khiển, và đầu ra từ hệ thống điều khiển ảnh hưởng trên mô phỏng MBS.

Phần mềm này trao đổi thông tin vòng kín trong đó đầu ra từ mô hình MBS là các thông số đo điều khiển ảnh hưởng trên mô ph

Hình 3. Kiến trúc phần mềm của kỹ thuật mẫu ảo

3 ỨNG DỤNG KỸ THUẬT MẪU ẢO PHÁT TRIỂN NGHIÊN CỨU ROBOT ĐÀO

Ngày nay robot đào được sử dụng thay thế con người trong điều kiện làm việc nguy hiểm và khắc nghiệt như: khai thác khoáng sản trong hầm mỏ, trồng rừng, hoạt động trong vùng nhiễm phóng xạ hoặc trong điều kiện làm việc nguy hiểm. Để phục vụ nghiên cứu và chế tạo robot đào trong bài báo này kỹ thuật mẫu ảo được áp dụng để mô phỏng hoạt động của robot trên máy tính trước khi triển khai chế tạo mẫu vật lý nhằm giảm chi phí phân

cứng, tiết kiệm thời gian và tránh rủi ro khi triển khai trên mẫu phần cứng. Trình tự các bước để xây dựng mẫu ảo robot đào: 1. Phân tích hành vi hoạt động đào của robot trong ngữ cảnh thật; 2. Xây dựng mẫu ảo cho robot; 3. Mô phỏng hành vi đào của robot trên mẫu ảo; 4. Phát triển hệ thống điều khiển cho mẫu ảo robot; 5. Mô phỏng và đánh giá hoạt động robot dựa trên mẫu ảo.

3.1 Phân tích hành vi đào của robot

Để thực hiện đào một rãnh, robot thực hiện các nhiệm vụ sau:

Bước 1: Gàu múc (bucket) di chuyển đến vị trí trên rãnh đào.

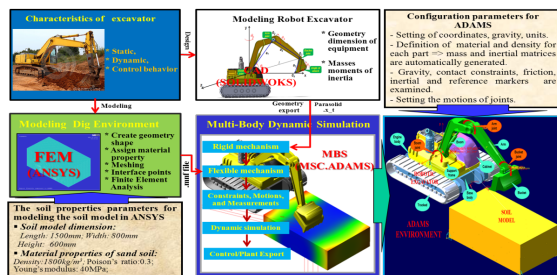
Bước 2: Gàu tiếp xúc với đất qua sự dịch chuyển của Cần (boom).

Bước 3: Robot xác định Đường dẫn của gàu (bucket path) và Góc của gàu (bucket angle). Robot sẽ tự động sinh ra các thông số hình thành Đường dẫn gàu dựa trên biên dạng địa hình và độ cứng của đất.

Bước 4: Gàu di chuyển xuyên qua đất dựa trên độ cứng của đất, bao gồm các chuyển động: Xuyên thấu (penetration), Kéo (drag), và Xoay (curl).

3.2 Xây dựng mẫu ảo cho robot đào

Trình tự các bước cho xây dựng mẫu ảo robot đào được trình bày trên hình 4. Dựa trên phân tích đặc tính và nguyên lý làm việc của robot đào, người thiết kế cơ khí sẽ mô hình hóa các thành phần cứng của robot đào thông qua thiết kế các chi tiết với hình dạng và kích thước như mô hình vật lý (sử dụng phần mềm SOLIDWORKS), sau đó các chi tiết này sẽ được gán thuộc tính vật liệu để sinh ra mô men quán tính, mô hình này sau đó sẽ được xuất sang môi trường ADAMS thông qua định dạng file Parasolid.x_t



Hình 4. Trình tự các bước xây dựng mẫu ảo robot đào

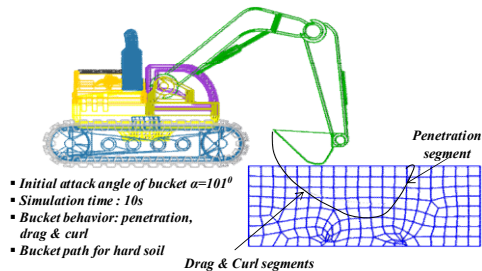
Trong khi đó các phần tử mềm dẻo (mô hình đất) sẽ được mô hình hóa bằng phương pháp phần tử

hữu hạn (FEM: Finite Element Method) bằng phần mềm ANSYS để tạo ra mô hình có thuộc tính các loại đất có độ cứng khác nhau. Mô hình này sau đó được xuất sang môi trường ADAMS sử dụng định dạng .mnf file.

Quá trình xây dựng mẫu ảo sẽ thực hiện trong môi trường mô phỏng động học nhiều thành phần (Multi-Body Dynamic Simulation) sử dụng phần mềm MSC.ADAMS. Trong môi trường ADAMS các thành phần của robot đào được lắp ráp lại với nhau và được cài đặt: tọa độ, tỉ trọng, đơn vị, định nghĩa vật liệu và tỉ trọng cho các chi tiết, định nghĩa các ràng buộc tiếp xúc, hệ số ma sát, quán tính và các điểm tham chiếu cho các khâu, các khớp. Cài đặt các thông số chuyển động cho các khâu, khớp của robot.

3.3 Mô phỏng hành vi của robot thông qua mẫu ảo

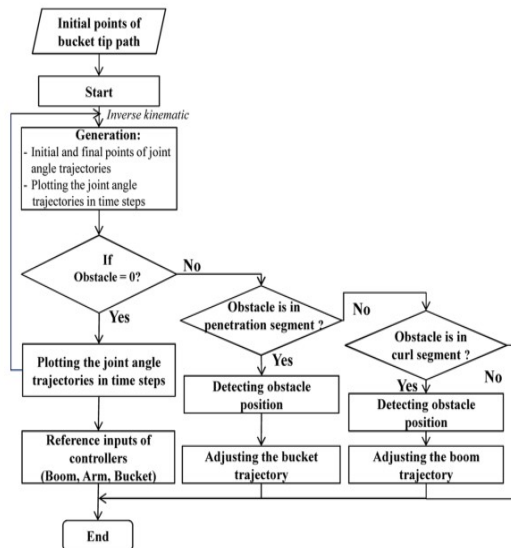
Mô phỏng trên mẫu ảo robot dùng để khám phá hành vi của gàu múc và nhận dạng lực tương tác giữa mũi gàu với đất.



Hình 5. Mô phỏng hành vi của mũi gàu trên đất

Đối với loại đất mềm hành vi của gàu múc là xuyên thấu (penetration) và cuộn (curl); với loại đất cứng hành vi của gàu là xuyên thấu (penetration), kéo (drag) và cuộn (curl). Nếu khi đào mũi gàu đụng vật cứng, dựa trên lực tương tác giữa mũi gàu và vật cứng, robot sẽ tự động thay đổi quỹ đạo đào để tránh hỏng thiết bị.

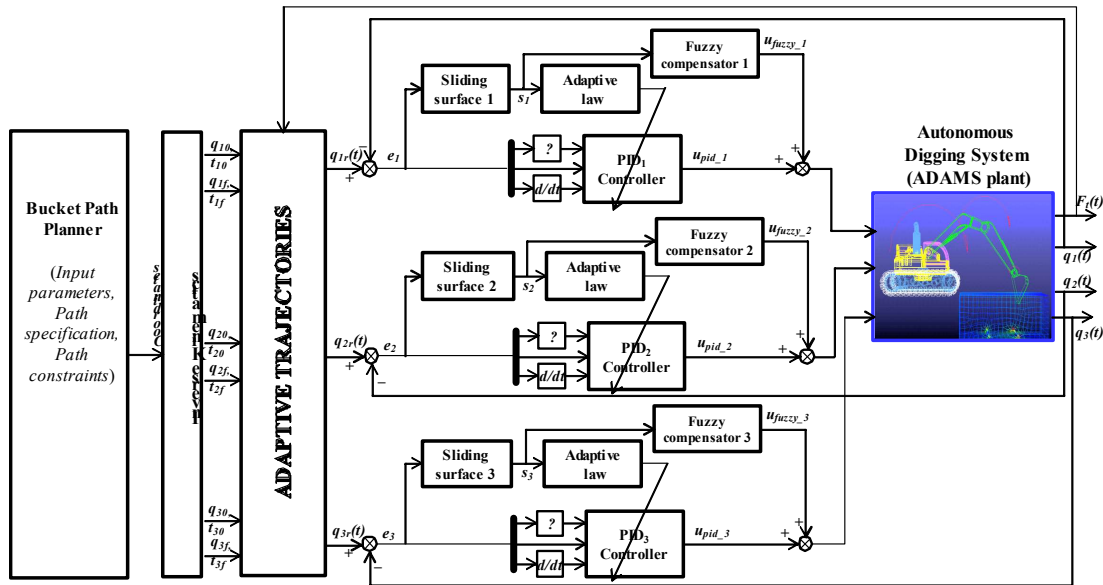
3.4 Phát triển hệ thống điều khiển cho mẫu ảo robot



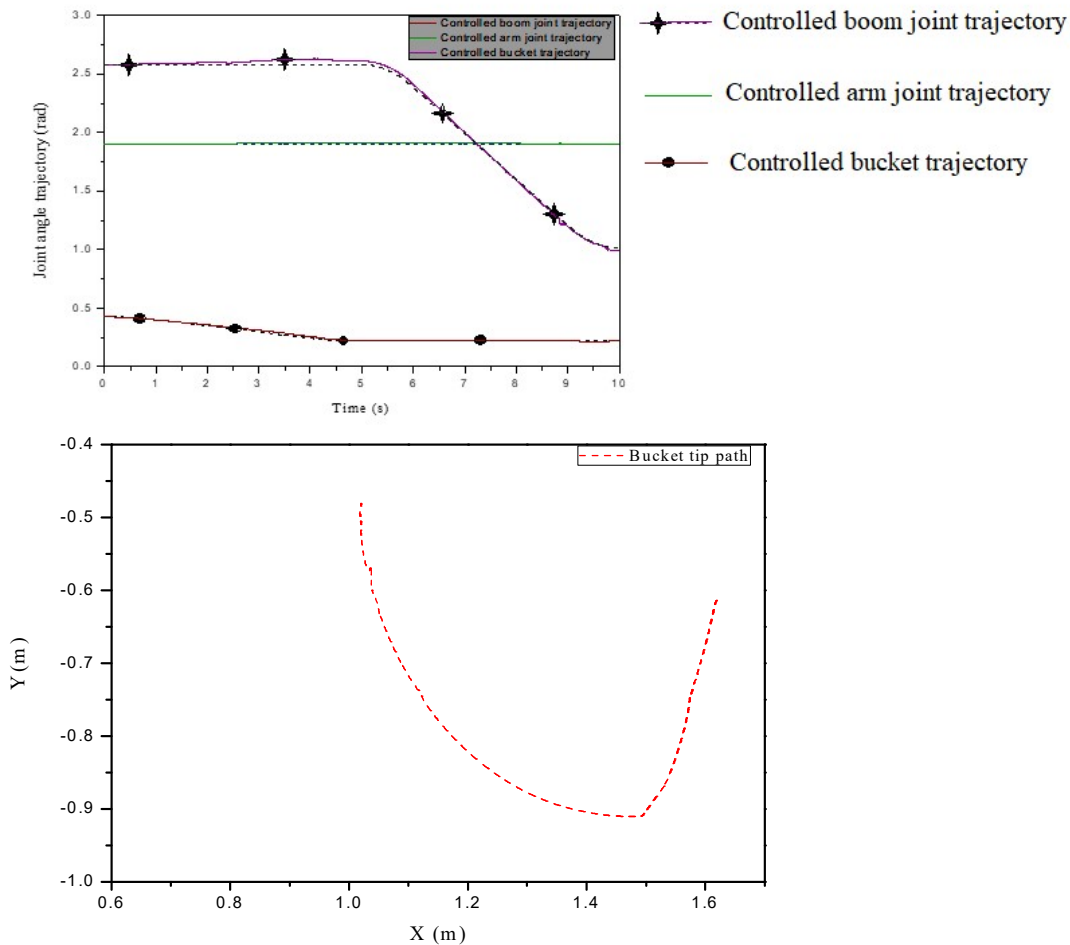
Hình 6. Thuật toán cho điều chỉnh quỹ đạo mũi gầu khi gặp vật cứng chôn vùi trong đất

Để thực hiện điều khiển quỹ đạo của mũi gầu di chuyển theo một quỹ đạo đào mong muốn trong tọa độ Đề các (Descartes), thì phải điều khiển quỹ đạo góc của ba khớp quay của robot trong quỹ đạo góc tương ứng, điều này khó thực hiện liên quan đến độ cứng của đất và vật cản chôn vùi trong đất không

biết. Ngoài ra khi đào khối lượng và chiều dài của các khâu thay đổi liên tục do đó rất khó điều khiển mũi gầu đi theo quỹ đạo mong muốn khi sử dụng các bộ điều khiển thông thường. Do đó trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất một bộ điều khiển hiện đại gọi là ASMPIDF (Adaptive Sliding Mode PID Fuzzy). Bộ điều khiển này bền vững và thích nghi trong bất kỳ tình huống thay đổi nào của thông số hệ thống và nhiễu môi trường. Quá trình điều khiển thực hiện nhiệm vụ đào như sau: Ban đầu quỹ đạo của mũi gầu trong tọa độ Đề các sẽ được xác định trước do đó ba quỹ đạo góc của ba khớp quay robot cũng được xác định dựa trên phương trình động học ngược. Ba bộ điều khiển ASMPIDF sẽ điều khiển các góc của ba khớp boom, arm, bucket bám theo quỹ đạo mục tiêu. Khi mũi gầu chạm vật cứng trong đất, lực tương tác ở mũi gầu sẽ tăng đột ngột vượt ngưỡng giá trị lực đã biết. Dựa trên độ lớn và chiều của lực tương tác, robot có thể nhận dạng vị trí của vật cản chôn vùi trong đất và tự động sinh ra quỹ đạo để tránh vật cản chôn vùi.



Hình 7. Bộ điều khiển ASMPIDF cho mẫu ảo robot



Hình 8. Kết quả mô phỏng với đất mềm, thông số: tọa độ điểm đầu: 1.618,-0.613; tọa độ độ sâu: 1.481,-0.910; tọa độ điểm cuối: 1.021,-0.478; góc gàu: $\alpha = 101$.

4 KẾT LUẬN

Hình 8 biểu diễn kết quả đào trong một trường hợp cụ thể với loại đất mềm, điểm đào có tọa độ: điểm đầu: $x = 1,618, y = -0,613$; độ sâu: $x = 1,481, y = -0,910$; điểm cuối: $x = 1,021, y = -0,478$; góc

Kết quả cho thấy ba bộ điều khiển ASMPIDF luôn điều chỉnh bám theo mục tiêu mong muốn bất chấp nhiễu thay đổi với kết quả đạt được: độ vọt lố (overshoot) và thời gian xác lập (settling time) gần như bằng zero, sai số ổn định (steady state error) ít hơn $\pm 5\%$ (thỏa mãn mục tiêu điều khiển), và nhiễu hầu như bị loại bỏ. Do đó có thể kết luận độ điều khiển bền vững và phương pháp mẫu ảo có thể áp dụng trong giai đoạn thiết kế các hệ thống cơ điện tử phức tạp trước khi triển khai chế tạo mẫu vật lý nhằm rút ngắn thời gian và đơn giản hóa quá trình chế tạo mẫu vật lý, giảm rủi ro hỏng hóc thiết bị cũng như giảm chi phí chế tạo mẫu vật lý nhiều lần.

gàu: $\alpha = 101$. Quá trình mô phỏng đào cũng được kiểm tra trong nhiều ngữ cảnh khác nhau với các thông số hệ thống thay đổi và nhiễu bên ngoài thay đổi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Alexandru and C. Pozna, Dynamic modeling and control of the windshield wiper mechanisms, *Journal WSEAS Transactions on Systems*, vol. 8, no.7, pp. 825-834, July 2009.
- [2] Hong-Soek Park, Ngoc-Tran Le, Modeling and Controlling the Mobile Harbour Crane System with Virtual Prototyping Technology, *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 10, no. 6, pp. 1204-1214, Dec. 2012.

- [3] Cătălin Alexandru: *Simulating the dynamic behavior of the mechanical systems by using virtual prototyping tools. Case study-Solar tracker simulation*, Annals of the Oradea university, fascicle of management and technological engineering, vol. 6, 2007.
- [4] Jangho Bae, Chang Seup Lee, Daehie Hong: *Avoidance of earth obstacles for intelligent excavator*, Proceedings of the 28th ISARC, pp. 1184-1189, Seoul Korea, 2011.
- [5] J.J.E. Slotine, *Sliding controller design for nonlinear systems*, Int. J. Control, no. 40, pp. 421-434, 1984



Lê Ngọc Trân, nhận bằng đại học tại Đại học Nha Trang năm 1998, bằng thạc sĩ tại Đại học Giao thông Vận tải năm 2009 và tiến sĩ tại Đại học Ulsan năm 2014. Các hướng nghiên cứu của tác giả hệ thống cơ điện tử,

hệ thống sản xuất thông minh và hệ thống tự động hóa công nghiệp

Optimization of design for mechatronic system based on virtual prototyping technology

Le Ngoc Tran

Abstract- According to the traditional design method, in order to manufacture a mechatronic system, from the initial idea, the designer designs the mechanical system by CAD (Computer-Aided-Design), this system is then fabricated, finally, the system will be tested on the working condition. If the system does not work properly, the design of the system will be changed, and hardware is re-manufactured. This method is more time-consuming and cost for repairing and manufacturing hardware repeatedly. To save design time and reduce the cost of the manufacturing hardware as well as to optimize the design process of a mechatronics system, this paper introduces an engineering model it is called a virtual prototyping technology which allows optimizing the designs on the computer before manufacturing the test-bed system. Based on the concept of the system working, the mechatronics system is designed on SOLIDWORKS and then exported to the ADAMS software (Automated Dynamic Analysis of Mechanical System). The flexible element is also modeling and analysis in ANSYS software then exported to ADAMS. The integrated simulation in ADAMS environment is executed to investigate the dynamic behaviors of the mechanical system and design will be adjusted. Virtual prototyping model will then be exported to MATLAB / Simulink to develop the control strategies. Co-simulation results in some contexts to evaluate the effectiveness of the proposed mechatronic system before implementing on test-bed

Keywords: virtual prototype technology, mechatronic system, intelligent control, design optimization.