

TRÍCH YẾU LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Họ và tên của nghiên cứu sinh: **Trần Sĩ Kiên**

Tên đề tài của luận án: **“Động lực học và điều khiển tối ưu chuyển động của tay máy công nghiệp dựa trên nguyên lý cực đại Pontryagin”.**

Ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã ngành: 9520103

Họ và tên cán bộ hướng dẫn khoa học:

1. TS. Phan Đăng Phong
2. GS.TSKH. Đỗ Sanh

Cơ sở đào tạo: Viện Nghiên cứu Cơ khí – Bộ Công Thương

TÓM TẮT NHỮNG KẾT LUẬN MỚI CỦA LUẬN ÁN

1. Đối tượng, mục tiêu nghiên cứu của đề tài

1.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

a. *Đối tượng nghiên cứu* của đề tài là tay máy công nghiệp dạng chuỗi hở, tập trung vào các vấn đề phân tích động lực học và tối ưu hóa chuyển động của tay máy trong quá trình làm việc. Đối tượng khảo sát cụ thể trong mô phỏng số là các mô hình tay máy phẳng 3 bậc tự do. Các mô hình này được lựa chọn nhằm minh họa và kiểm chứng khả năng áp dụng của khung phương pháp đề xuất đối với một số dạng chuyển động điển hình của tay máy công nghiệp.

b. *Phạm vi nghiên cứu:*

Luận án tập trung nghiên cứu các tay máy công nghiệp trên phương diện mô hình hóa cơ học, phân tích động lực học và tối ưu hóa chuyển động.

- Các khâu của tay máy được giả thiết là vật rắn tuyệt đối, không xét đến tính đàn hồi của các khâu, khớp và các vấn đề bất định (sai số tham số và nhiễu tải). Đây là giới hạn của luận án và là cơ sở cho hướng phát triển tiếp theo.

- Các dạng chuyển động được xem xét tối ưu hóa là chuyển động điểm-điểm, chuyển động theo quỹ đạo định sẵn của điểm tác động cuối. Trong đó coi ràng buộc đường dịch chuyển hình học đặt lên điểm tác động cuối là liên kết lý tưởng.

- Tiêu chí tối ưu được lựa chọn là giảm nỗ lực điều khiển, được biểu diễn thông qua tích phân bình phương lực hoặc mômen điều khiển theo thời gian.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan và tổng hợp cơ sở lý thuyết về phân tích động lực học và điều khiển tối ưu tay máy công nghiệp.

- Tối ưu hoá chuyển động của tay máy công nghiệp trên cơ sở mô hình động lực học, nguyên lý phù hợp và nguyên lý cực đại Pontryagin.

- Áp dụng phương pháp mô phỏng minh họa một số chuyển động điển hình của tay máy công nghiệp.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

- Nghiên cứu lý thuyết phương pháp ma trận truyền, phương trình Lagrange dạng ma trận và nguyên lý phù hợp để thiết lập phương trình động lực học cho tay máy công nghiệp.

- Nghiên cứu lý thuyết về nguyên lý cực đại Pontryagin để thiết lập các điều kiện cần của bài toán tối ưu, làm cơ sở xác định quy luật điều khiển và quy luật chuyển động phù hợp với các điều kiện biên và ràng buộc đặt ra.

2.2. Phương pháp nghiên cứu mô phỏng

- Xác định chuyển động tối ưu của một số tay máy phẳng trong một số chuyển động điển hình ở môi trường công nghiệp: chuyển động điểm-điểm, chuyển động theo quỹ đạo định sẵn, chuyển động khứ hồi.

- So sánh định lượng giữa kết quả điều khiển tối ưu với một số quy luật chuyển động hoặc phương pháp đối chứng.

3. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về phân tích động lực học tay máy công nghiệp và điều khiển tối ưu.

- Xây dựng mô hình động lực học sử dụng phương pháp Lagrange, nguyên lý phù hợp và thiết lập bài toán điều khiển tối ưu cho tay máy công nghiệp sử dụng nguyên lý Pontryagin dựa trên phương pháp gián tiếp.

- Mô phỏng số điều khiển tối ưu tay máy với các chuyển động điển hình: chuyển động điểm-điểm, chuyển động có ràng buộc điểm cuối và chuyển động theo chu kỳ nhằm minh họa phương pháp nghiên cứu.

4. Các kết quả đạt được của luận án

- Luận án đã xây dựng được một khung phương pháp nghiên cứu tương đối thống nhất cho lớp bài toán phân tích động lực học và tối ưu hóa chuyển động tay máy công nghiệp. Trong khung đó, phương pháp ma trận truyền được sử dụng để mô tả động học, phương trình Lagrange loại 2 dạng ma trận được sử dụng để thiết lập mô hình động lực học của hệ không ràng buộc, nguyên lý phù hợp được sử dụng để xây dựng phương trình chuyển động của hệ chịu ràng buộc, còn nguyên lý cực đại Pontryagin được sử dụng để thiết lập các điều kiện cần tối ưu. Sự kết hợp các công cụ này cho phép hình thành một khung nghiên cứu chặt chẽ, đi từ mô hình cơ học đến bài toán điều khiển tối ưu.

- Đối với bài toán chuyển động điểm-điểm, luận án đã phát biểu, xây dựng và giải được bài toán điều khiển tối ưu cho hai trường hợp tiêu biểu là chuyển động đến điểm đích và chuyển động theo chu trình. Kết quả thu được cho thấy các mô hình động lực học được thiết lập là phù hợp, bài toán tối ưu được phát biểu đúng đắn, và lời giải tối ưu thu được bảo đảm tay máy thực hiện đúng yêu cầu chuyển động với các biến khớp, vận tốc khớp và tín hiệu điều khiển biến thiên liên tục, hợp lý về mặt cơ học.

- Đối với bài toán chuyển động chịu ràng buộc quỹ đạo điểm cuối, luận án đã mở rộng được khung phương pháp từ hệ không ràng buộc sang hệ chịu ràng buộc hình học. Trên cơ sở đó, luận án đã khảo sát hai trường hợp là chuyển động đơn một lần theo quỹ đạo định sẵn và chuyển động theo chu kỳ trên quỹ đạo định sẵn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy phương trình chuyển động của hệ chịu ràng buộc có thể được thiết lập dưới dạng thích hợp để áp dụng nguyên lý Pontryagin, từ đó xác định được luật điều khiển tối ưu bảo đảm điểm tác động cuối bám đúng quỹ đạo yêu cầu trong suốt quá trình chuyển động.

- Các kết quả mô phỏng số trong luận án cho thấy nghiệm tối ưu thu được có ý nghĩa không chỉ về mặt toán học mà còn về mặt cơ học. Trong các trường hợp khảo sát, quỹ đạo chuyển động của điểm tác động cuối được thực hiện theo yêu cầu, các tọa độ suy rộng, vận tốc suy rộng và lực/mômen điều khiển biến thiên liên tục, không xuất hiện đột biến bất thường. Đặc biệt, các kết quả so sánh định lượng với các quy luật chuyển động đối chứng như đa thức bậc ba, đa thức bậc năm và S-curve cho thấy nghiệm tối ưu theo Pontryagin làm giảm rõ rệt giá trị hàm mục tiêu.

- Về mặt đóng góp, luận án không chỉ dừng ở việc áp dụng các kết quả lý thuyết đã biết cho các mô hình cụ thể, mà đã tổ chức và phát triển được một hướng xử lý có tính hệ thống cho lớp bài toán động lực học và điều khiển tối ưu tay máy công nghiệp. Các mô hình tay máy phẳng 3 bậc tự do được khảo sát trong luận án đóng vai trò minh họa và kiểm chứng cho khung phương pháp đề xuất. Thông qua các trường hợp chuyển động điểm-điểm, chuyển động theo chu trình, chuyển động chịu ràng buộc quỹ đạo điểm

cuối và chuyển động theo chu trình trên quỹ đạo định sẵn, luận án đã làm rõ khả năng áp dụng của khung phương pháp đối với nhiều dạng yêu cầu chuyển động khác nhau của tay máy công nghiệp.

Hà Nội, ngày tháng năm 2026

Ý kiến của tập thể người hướng dẫn khoa học

Nghiên cứu sinh

TS. Phan Đăng Phong

GS.TSKH. Đỗ Sanh

Trần Sĩ Kiên