

PHẠM THÀNH LONG NGUYỄN HỮU CÔNG LÊ THỊ THU THỦY

# ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP GIẢM GRADIENT TỔNG QUÁT TRONG KỸ THUẬT ROBOT



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



PHẠM THÀNH LONG, NGUYỄN HỮU CÔNG  
LÊ THỊ THU THỦY

# ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP GIẢM GRADIENT TỔNG QUÁT TRONG KỸ THUẬT ROBOT



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



# Lời nói đầu

---

Thiết kế và điều khiển robot là công việc kỹ thuật chuyên sâu đòi hỏi có phương pháp hiệu quả nhằm đảm bảo được các yêu cầu:

- Tính toán được nhiều công đoạn khác nhau của bài toán;
- Tính toán được các lớp bài toán khác nhau, trên các đối tượng khác nhau về cấu hình;
- Tốc độ tính toán và độ chính xác cao;
- Dễ học, dễ sử dụng và có thể bộc lộ nhiều nhất các thông tin về quá trình tính, thiết kế.

Trong những năm gần đây robot trở thành đối tượng được quan tâm nhiều cả trên thực tế lẫn trong học thuật, những người mới bắt đầu thường gặp không ít khó khăn trong việc làm quen với các công cụ tính. Nhất là khối lượng tính toán trong thiết kế và điều khiển robot rất lớn, rất phức tạp, có những bài toán phải giải lặp đi lặp lại nhiều lần. Các bài toán robot với đặc điểm phi tuyến, siêu việt có ràng buộc thêm các điều kiện công nghệ nên việc giải trở nên hết sức khó khăn. Vì vậy trong cuốn sách này chúng tôi muốn giới thiệu với độc giả một phương pháp đã chứng thực được hiệu quả của nó trong kỹ thuật robot, đó là phương pháp giảm gradient tổng quát (GRG), kỹ thuật này được ứng dụng để khảo sát động học các cơ cấu chuẩn, hệt hoặc dư dẫn động đều phù hợp. Bản thân bài toán động học robot là bài toán giải hệ phương trình phi tuyến, siêu việt, có rất nhiều phương pháp để giải bài toán này song mỗi phương pháp lại cần lợi dụng các đặc điểm riêng của robot về kết cấu như các trục song song hay cắt nhau để làm hệ suy biến bằng cách rút dần từng biến theo những trình tự rất phức tạp. Phương pháp GRG chỉ ứng dụng vào bài toán này sau khi đã chuyển bài toán động học về hình thức tối ưu vì GRG là công cụ tối ưu, lợi thế của cách làm này là chỉ học

*một phương pháp, giải được tất cả các loại robot từ robot chuỗi, robot song song, robot lai, robot hạt hoặc dư dẫn động đều thực hiện được.*

*Nội dung cơ bản của cuốn sách gồm 8 chương:*

*Chương 1: Hệ thống điều khiển số nhiều trục*

*Chương 2: Phương pháp giảm gradient tổng quát (GRG)*

*Chương 3: Khảo sát động học robot chuỗi ứng dụng GRG*

*Chương 4: Khảo sát động học robot song song ứng dụng GRG*

*Chương 5: Điều khiển robot mềm có xét đến bù biến dạng đàn hồi*

*Chương 6: Thiết kế robot đảm bảo độ chính xác ban đầu với GRG*

*Chương 7: Khảo sát các truyền động đặc biệt với GRG*

*Chương 8: Thiết kế các hệ thống nhiều thứ nguyên với GRG*

*Với tính chất là một tài liệu chuyên khảo, sách không trình bày các kiến thức cơ sở có liên quan đến kỹ thuật robot mà chủ yếu là các bài toán trên cơ sở kỹ thuật GRG. Các vấn đề cơ bản liên quan độc giả cần tự tìm hiểu ở các giáo trình robot.*

*Phương pháp GRG không chỉ phù hợp với lĩnh vực động học robot mà qua thực tế cho thấy nó có thể ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác của kỹ thuật như điều khiển, tối ưu hóa, thậm chí các ngành xã hội khác như kinh tế, quân trị...*

*Trong quá trình biên soạn cuốn sách tác giả đã cố gắng trình bày các nội dung có tính hệ thống, mục tiêu hướng đến là người đọc có thể dựa vào đó để thực hành được việc chuẩn bị dữ liệu thiết kế hoặc điều khiển robot mình quan tâm. Rất mong nhận được những đóng góp của độc giả để cuốn sách được hoàn thiện hơn.*

*Xin chân thành cảm ơn!*

**CÁC TÁC GIẢ**

# MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU .....	3
MỤC LỤC.....	5
MỘT SỐ KÝ HIỆU VIẾT TẮT.....	10

## **Chương 1: HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ NHIỀU TRỤC**

1.1. Liên kết giữa các trục trong hệ điều khiển số .....	11
1.2. Phân chia chức năng của phần cứng và phần mềm trong hệ.....	13
1.3. Hệ thống các điểm chuẩn và điểm tựa trong điều khiển robot.....	14
1.3.1. Hệ tọa độ trong kỹ thuật robot.....	15
1.3.2. Các điểm tựa trong mô tả quỹ đạo.....	15
1.3.3. Các điểm chuẩn trong kỹ thuật robot .....	16
1.4. Cơ sở xây dựng số liệu điều khiển robot.....	16
1.4.1. Khái niệm về số liệu động học .....	16
1.4.2. Số liệu động lực học .....	22
1.4.3. Các số liệu bù sai số .....	23
1.5. Độ chính xác và độ chính xác lặp lại .....	24
1.6. Sử dụng hàm truyền và ma trận truyền trong điều khiển.....	25

## **Chương 2: PHƯƠNG PHÁP GIẢM GRADIENT TỔNG QUÁT**

2.1. Khái niệm gradient.....	31
2.2. Phương pháp giảm gradient (Reduced Gradient).....	32
2.3. Phương pháp giảm gradient tổng quát .....	40
2.4. Ảnh hưởng của phép tính sai phân đến độ chính xác của bài toán.....	49
2.5. Trình tối ưu Solver của Excel .....	52

## **Chương 3: ĐỘNG HỌC ROBOT CHUỖI**

3.1. Sự hình thành bài toán.....	63
3.1.1. Sơ đồ công nghệ .....	63

3.1.2. Quan hệ giữa các không gian .....	65
3.2. Ứng dụng phương pháp GRG trong bài toán động học ngược .....	66
3.2.1. Cơ sở toán học của việc thay đổi mô hình bài toán động học .....	66
3.2.2. Lựa chọn công cụ cho bài toán tối ưu .....	70
3.2.3. Các phương pháp triển vọng với dạng hàm mục tiêu Banana .....	70
3.3. Môi trường lập trình và lựa chọn hàm chức năng .....	73
3.3.1. Nhận định chung .....	73
3.3.2. Kết quả các bài toán mẫu .....	74
3.3.3. Kết quả chạy chương trình .....	75
3.3.4. Lựa chọn phương pháp tối ưu .....	77
3.4. Bài toán động học ngược với GRG và quy tắc chuyển vị xoắn .....	77
3.4.1. Quy tắc chuyển vị xoắn .....	77
3.4.2. Bài toán động học ngược giải bằng Solver .....	81
3.5. Nâng cao độ chính xác đáp ứng vị trí và hướng của lời giải .....	84
3.5.1. Nhận định về sai số .....	84
3.5.2. Mô hình toán học hợp lý .....	85
3.5.3. Ví dụ về giải bài toán động học ngược theo mô hình mới .....	87
3.6. Ví dụ về xây dựng đặc tính động học điều khiển robot hàn .....	94
3.6.1. Bản vẽ chế tạo và mô hình tham số đối tượng gia công .....	94
3.6.2. Ứng dụng CAD trong xây dựng ma trận tọa độ thực .....	96
3.6.3. Chọn robot và xây dựng hệ phương trình động học .....	101
3.6.4. Tính toán thời gian hàn .....	104
3.6.5. Bài toán ngược và nội suy chuyển động trong không gian khớp .....	105

#### **Chương 4: ĐỘNG HỌC ROBOT CẤU TRÚC SONG SONG**

4.1. Đặc điểm và ứng dụng của cấu trúc song song .....	113
4.2. Phân loại robot song song .....	116
4.3. Nguyên tắc mô hình hóa bài toán động học robot song song .....	117
4.3.1. Mô hình hóa động học robot song song phẳng RRR .....	121



4.3.2. Mô hình hóa động học robot hexapod cấu hình SRS .....	123
4.3.3. Mô hình hóa động học robot hexapod cấu hình SPS .....	125
4.3.4. Mô hình hóa động học robot delta .....	126
4.3.5. Mô hình hóa động học robot Maryland.....	130
4.3.6. Mô hình hóa robot song song kiểu double hexa.....	131
4.4. Nhận định về sự tương tự trong mô hình toán với robot cấu trúc hờ .....	136
4.5. Ứng dụng phương pháp GRG khảo sát động học robot song song .....	137
4.6. Sự giới hạn của phương pháp GRG .....	141
4.6.1. Mô hình thay thế tương đương .....	145
4.6.2. Phương trình liên kết của cấu trúc thay thế.....	146
4.6.3. Bài toán động học thuận.....	146
4.6.4. Bài toán động học ngược.....	149
4.6.5. Ví dụ với robot song song phẳng RPR.....	151

## **Chương 5: ĐIỀU KHIỂN CÓ XÉT ĐẾN BÙ BIẾN DẠNG ĐÀN HỒI**

5.1. Bù sai số biến dạng khi điều khiển động học.....	155
5.1.1. Tính toán định lượng sai số của cấu trúc.....	156
5.1.2. Điểm thay thế và bù thô .....	158
5.1.3. Ví dụ về bù thô .....	162
5.1.4. Điểm thay thế khi bù tinh.....	166
5.1.5. Ví dụ về bù tinh.....	168
5.2. Bù lực trong điều khiển động lực học .....	170
5.2.1. Quan điểm xuất phát từ việc thay đổi thể năng của hệ.....	171
5.2.2. Quan điểm xuất phát từ việc thay đổi các tham số động học của hệ.....	172
5.3. Ví dụ về điều khiển robot có bù chuyển vị và bù lực .....	173
5.3.1. Ví dụ về điều khiển robot ba khâu phẳng có bù chuyển vị ....	173
5.3.2. Ví dụ về điều khiển lực robot mềm hai khâu .....	176
5.4. Mô hình xác định vị trí điểm cuối bằng cảm biến.....	179

## **Chương 6: THIẾT KẾ ROBOT ĐẢM BẢO ĐỘ CHÍNH XÁC BAN ĐẦU VỚI GRG**

6.1. Bài toán độ chính xác ban đầu của các cơ cấu robot.....	186
6.2. Các phương pháp truyền thống .....	187
6.2.1. Phương pháp giải chuỗi kích thước truyền thống .....	187
6.2.2. Phương pháp sử dụng ma trận Jacobian.....	188
6.3. Sử dụng phương pháp GRG cho bài toán ngược về độ chính xác .....	189
6.3.1. Bài toán ngược về độ chính xác .....	189
6.3.2. Hiệu chỉnh miền giá trị dung sai .....	193
6.4. Tính toán minh họa một số trường hợp.....	195
6.4.1. Bài toán ngược tìm dung sai biến suy rộng theo GRG.....	195
6.4.2. Bài toán xác định dung sai kích thước DH theo GRG .....	199
6.4.3. Tính toán với robot fanuc S900W .....	202
6.4.4. Tính toán dung sai với robot song song phẳng tripod .....	205
6.5. Dung sai có xét đến ảnh hưởng từ tất cả các nhóm kích thước.....	208
6.6. Sự hình thành bài toán đồng dạng dung sai và các khái niệm .....	211
6.7. Thiết kế dung sai dựa trên quan hệ đồng dạng.....	213
6.7.1. Chia lại lượng dư.....	213
6.7.2. Phương trình hiệu chỉnh cận.....	215
6.8. Tính toán minh họa trên một số đối tượng.....	217
6.8.1. Tính dung sai cho robot (A) .....	217
6.8.2. Tính dung sai cho robot (B) .....	219
6.8.3. Tính dung sai cho robot (B') .....	220
6.8.4. Tính toán thiết kế dung sai cho robot sáu khâu toàn khớp quay .....	222
6.9. Trường hợp các robot cùng lớp nhưng không đồng dạng với nhau.....	232

## **Chương 7: KHẢO SÁT CÁC TRUYỀN ĐỘNG ĐẶC BIỆT VỚI GRG**

7.1. Mô hình hóa truyền động trực bằng kỹ thuật robot.....	248
7.2. Khảo sát tính đẳng tốc truyền động trực .....	250
7.3. Khảo sát giới hạn chuyển hướng của truyền động trực.....	251