

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

NGÔ KIÊN TRUNG

**NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN
BỘ ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ
CHO ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

THÁI NGUYÊN - 2014

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

NGÔ KIÊN TRUNG

**NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN
BỘ ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ
CHO ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa
Mã số: 62. 52. 02. 16**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS.TS. Nguyễn Hữu Công**
- 2. TS. Vũ Như Lâm**

THÁI NGUYÊN – 2014

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan: luận án “Nghiên cứu cải tiến bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử cho đối tượng phi tuyến” là công trình nghiên cứu của riêng tôi được hoàn thành dưới sự chỉ bảo tận tình của hai thầy giáo hướng dẫn.

Các kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực, một phần được công bố trên các tạp chí khoa học chuyên ngành với sự đồng ý của các đồng tác giả, phần còn lại chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Thái Nguyên, ngày tháng năm 2014

Tác giả luận án

Ngô Kiên Trung

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến PGS.TS. Nguyễn Hữu Công - Đại học Thái Nguyên và TS. Vũ Như Lâm - Viện công nghệ thông tin Hà Nội đã tận tình hướng dẫn, tạo mọi điều kiện thuận lợi, giúp tôi thực hiện và hoàn thành luận án này.

Tôi xin trân trọng cảm ơn các thầy cô giáo, đồng nghiệp trong bộ môn Tự động hóa - Khoa Điện - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp và phòng Tin học trong điều khiển - Viện Công nghệ thông tin Hà Nội đã tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong thời gian thực hiện luận án, tham gia sinh hoạt khoa học.

Xin được gửi lời cảm ơn chân thành tới các thầy cô, anh chị, bạn bè và đồng nghiệp Khoa Điện, Khoa Điện tử, Khoa Quốc tế, Phòng Quản lý đào tạo sau đại học, các đơn vị chức năng Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp, các ban chức năng Đại học Thái Nguyên đã chia sẻ, giúp đỡ, động viên tôi vượt qua mọi khó khăn để hoàn thành tốt công việc nghiên cứu của mình.

Tôi biết ơn những người thân trong gia đình đã luôn quan tâm, động viên và tạo điều kiện thuận lợi nhất để tôi có thể hoàn thành bản luận án.

Thái Nguyên, ngày tháng năm 2014

Tác giả luận án

Ngô Kiên Trung

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ	ix
MỞ ĐẦU	1
1. Tổng quan tình hình nghiên cứu đại số gia tử trong và ngoài nước	1
1.1. Đại số gia tử	1
1.2. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước	2
1.2.1. Một số kết quả đạt được về phương pháp luận sử dụng HA và đề xuất phát triển hướng nghiên cứu	3
1.2.2. Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm với HA và đề xuất phát triển hướng nghiên cứu	6
2. Tính khoa học và cấp thiết của luận án	7
3. Mục tiêu của luận án	8
3.1. Mục tiêu chung	8
3.2. Mục tiêu cụ thể	8
4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu	9
5. Ý nghĩa lí luận và thực tiễn	10
5.1. Ý nghĩa lí luận	10
5.2. Ý nghĩa thực tiễn	10

6. Bố cục và nội dung của luận án	10
CHƯƠNG 1 CÁC KIẾN THỨC CƠ SỞ	13
1.1. Hệ logic mờ và phương pháp điều khiển	13
1.1.1. Mô hình mờ	14
1.1.2. Bộ điều khiển logic mờ	15
1.1.2.1. Bộ điều khiển mờ - FLC (Fuzzy Logic Controller)	15
1.1.2.2. Bộ điều khiển mờ động	16
1.1.2.3. Bộ điều khiển mờ lai - F_PID	16
1.1.3. Ưu nhược điểm	17
1.2. Lý thuyết Đại số gia tử	18
1.2.1. Biến ngôn ngữ	18
1.2.2. Đại số gia tử của biến ngôn ngữ	20
1.2.3. Các tính chất cơ bản của HA tuyến tính	22
1.2.4. Hàm độ đo tính mờ trong đại số gia tử tuyến tính	23
1.2.5. Phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng đại số gia tử	25
1.3. Giải thuật di truyền	33
1.3.1. Giới thiệu	33
1.3.2. Các bước cơ bản của giải thuật di truyền	34
1.3.3. Các phép toán của GA	35
1.3.4. Cơ sở toán học của GA	36
1.4. Kết luận chương 1	39
CHƯƠNG 2 ỨNG DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ TRONG ĐIỀU KHIỂN	41
2.1. Phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử	41

2.2. Nghiên cứu kiểm chứng bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử cho một số đối tượng công nghiệp	43
2.2.1. Điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số biến đổi	44
2.2.2. Điều khiển đối tượng phi tuyến đã được tuyến tính hóa	53
2.2.3. Điều khiển đối tượng có trễ với hệ số trễ lớn	59
2.3. Kết luận chương 2	63
CHƯƠNG 3 CẢI TIẾN BỘ ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ.	65
3.1. Đề xuất nghiên cứu	65
3.1.1. Đặt vấn đề	65
3.1.2. Đề xuất	66
3.1.2.1. Đề xuất nghiên cứu nâng cao chất lượng HAC	67
3.1.2.2. Đề xuất nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC	68
3.2. Nghiên cứu cải tiến HAC	69
3.2.1. Nghiên cứu nâng cao chất lượng HAC	69
3.2.2. Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC	71
3.3. Ứng dụng NEW_HAC cải tiến cho đối tượng phi tuyến	74
3.3.1. Xây dựng mô hình toán học hệ thống	75
3.3.2. Áp dụng NEW_HAC với 3 đầu vào và giảm lược luật	78
3.3.2.1. Thiết kế NEW_HAC	78
3.3.2.2. Mở rộng đề xuất	83
3.3.2.3. Nhận xét chung	85
3.3.3. Áp dụng PP tự động xác định tham số cho NEW_HAC	85
3.4. Kết luận chương 3	88

CHƯƠNG 4 THỰC NGHIỆM	89
4.1. Thí nghiệm với hệ thống truyền động bám chính xác	89
4.1.1. Giới thiệu mô hình hệ thống thí nghiệm	89
4.1.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển với HAC	91
4.1.3. Kết quả thí nghiệm	93
4.2. Thí nghiệm với hệ thống Ball and Beam	94
4.2.1. Giới thiệu mô hình hệ thống thí nghiệm	94
4.2.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển với NEW_HAC_GA	95
4.2.3. Kết quả thí nghiệm	98
4.3. Kết luận chương 4	100
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	101
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ	102
TÀI LIỆU THAM KHẢO	104
PHỤ LỤC	110

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Các ký hiệu:

AX	Đại số gia tử tuyến tính
α	Tổng độ đo tính mờ của các gia tử âm
β	Tổng độ đo tính mờ của các gia tử dương
W	Phần tử trung hòa trong đại số gia tử
θ	Giá trị định lượng của phần tử trung hòa
c^-, c^+	Các phần tử sinh

Các chữ viết tắt:

ĐKTĐ	Điều khiển tự động
SISO	Single-Input-Single-Output (Một vào - một ra)
BĐK	Bộ điều khiển
HA	Hedge Algebra (Đại số gia tử)
HAC	Hedge Algebra-based Controller (Bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử)
SQMs	Semantically Quantifying Mappings
HA-IRMd	Hedge Algebra-based Interpolative Reasoning Method (Phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng đại số gia tử)
GA	Genetic Algorithm (Giải thuật di truyền)
FLC	Fuzzy Logic Controller (Bộ điều khiển mờ)
FAM	Fuzzy Associative Memory (Bộ nhớ kết hợp mờ)
SAM	Semantization Associative Memory (Bộ nhớ kết hợp định lượng)

DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU

Bảng 2.1. Bảng luật điều khiển với nhãn ngôn ngữ của HA	47
Bảng 2.2. Bảng SAM (Semantization Associative Memory)	48
Bảng 2.3. Lựa chọn tham số cho các biến E, IE, U	56
Bảng 2.4. Luật điều khiển	56
Bảng 2.5. Bảng SAM	57
Bảng 2.6. Bảng luật điều khiển theo nhãn ngôn ngữ của HA	61
Bảng 2.7. Bảng SAM	61
Bảng 3.1. 27 tập luật điều khiển với nhãn ngôn ngữ HA	70
Bảng 3.2. Lựa chọn tham số cho các biến E, DE, IE và U	79
Bảng 3.3. Bảng SAM gồm 27 luật	80
Bảng 3.4. Bảng SAM2 gồm 27 luật sử dụng phép kết nhập	80
Bảng 3.5. Bảng SAM3 gồm 7 luật	81

Hình 2.16. Đáp ứng hệ với kích thích 1(t)	63
Hình 3.1. Mô tả hệ thống Ball and beam	75
Hình 3.2. Mô tả động học hệ thống Ball and beam	75
Hình 3.3. Sơ đồ khối mô hình phi tuyến hệ Ball and beam	77
Hình 3.4. Hệ thống bánh răng truyền động	77
Hình 3.5. Sơ đồ khối động cơ servo với đầu ra vị trí	78
Hình 3.6. Đường cong ngữ nghĩa định lượng NEW_HAC	81
Hình 3.7. Mô phỏng hệ với NEW_HAC cải tiến	82
Hình 3.8. Đáp ứng hệ với NEW_HAC cải tiến	82
Hình 3.9. Mô phỏng hệ thống với NEW_FLC và NEW_HAC	84
Hình 3.10. Kết quả với NEW_FLC và NEW_HAC	84
Hình 3.11. Đáp ứng hệ thống đối với bộ tham số GA	87
Hình 4.1. Mô hình thí nghiệm hệ thống truyền động bám chính xác	90
Hình 4.2. Arduino Board	90
Hình 4.3. Động cơ servo và cơ cấu bánh răng	90
Hình 4.4. Cấu trúc điều khiển hệ thống truyền động bám chính xác	91
Hình 4.5. Giao diện thí nghiệm hệ truyền động bám chính xác	91
Hình 4.6. Khâu lọc biến trạng thái (State Variable Function)	91
Hình 4.7. Arduino IO setup (Khối kết nối vào/ra)	92
Hình 4.8. Real-Time Pacer (Khối thiết lập thời gian thực)	92
Hình 4.9. Encoder read (Khối đọc tín hiệu encoder)	92
Hình 4.10. Arduino analog write (Khối vào/ra tương tự - PWM)	92

Hình 4.11. Arduino digital write (Khởi vào/ra số)	92
Hình 4.12. Điều khiển đảo chiều	92
Hình 4.13. Đáp ứng hệ thống với HAC 2 đầu vào	93
Hình 4.14. Sai lệch $e(t)$	93
Hình 4.15. Mô hình thí nghiệm hệ thống Ball and Beam	95
Hình 4.16. Động cơ Servo truyền động	95
Hình 4.17. Sensor vị trí GP2D12	95
Hình 4.18. Cấu trúc hệ thống điều khiển Ball and Beam	96
Hình 4.19. Giao diện thí nghiệm hệ Ball and Beam	96
Hình 4.20. Khâu đọc tín hiệu phản hồi vị trí	97
Hình 4.21. Arduino IO setup (Khởi kết nối vào/ra)	97
Hình 4.22. Real-Time Pacer (Khởi thiết lập thời gian thực)	97
Hình 4.23. Servo write (Khởi cấu hình điều khiển động cơ servo)	97
Hình 4.24. Arduino analog read (Khởi đọc tín hiệu analog)	97
Hình 4.25. Đáp ứng của hệ khi sử dụng NEW_HAC_GA	98
Hình 4.26. Sai lệch $e(t)$	98

MỞ ĐẦU

1. Tổng quan tình hình nghiên cứu đại số gia tử trong và ngoài nước

1.1. Đại số gia tử

Đại số gia tử - HA (Hedge Algebra) là một cấu trúc đại số để tính toán, mô phỏng ngữ nghĩa ngôn ngữ nên có thể được xem như cơ sở của logic mờ. Các tác giả đã chỉ ra những giá trị của biến ngôn ngữ trong thực tế đều có thứ tự nhất định về mặt ngữ nghĩa [31 - 35], chẳng hạn ta hoàn toàn có thể cảm nhận được ‘*trẻ*’ nhỏ hơn ‘*già*’ hoặc ‘*nhANH*’ lớn hơn ‘*chẬM*’. Theo Ho N.C [32], một HA là một bộ 4 thành phần $AX = (X, G, H, \leq)$ với X là miền giá trị của biến ngôn ngữ với quan hệ thứ tự bộ phận \leq được cảm sinh bởi ngữ nghĩa tự nhiên của các giá trị ngôn ngữ, G là tập các phần tử sinh nguyên thủy của biến ngôn ngữ, H là tập các gia tử ngôn ngữ gồm tập các gia tử dương và tập các gia tử âm.

Ví dụ như xem miền trị của biến ngôn ngữ *TRUTH* là một đại số gia tử kí hiệu $AX = (X, G, H, \leq)$ trong đó:

- X là tập các giá trị $\{true, very\ true, false, little\ false, \dots\}$
- G là tập các phần tử sinh gồm 2 giá trị $\{true, false\}$
- H là tập các gia tử $\{very, more, little, possibly\}$
- \leq được cảm sinh bởi ngữ nghĩa tự nhiên, chẳng hạn chúng ta có $very\ false \leq false \leq true \leq very\ true$.

Như vậy, ngữ nghĩa của các từ được biểu thị qua cấu trúc HA có thể được xác định bởi vị trí tương đối của chúng trong sự sắp xếp thứ tự giữa các từ trong miền ngôn ngữ, dựa trên ngữ nghĩa tự nhiên vốn có của chúng.

Để thuận lợi cho việc nghiên cứu ứng dụng HA, các tác giả trong [5], [7], [35] đã nghiên cứu việc định lượng giá trị ngôn ngữ, theo đó giá trị ngôn ngữ được định lượng bằng một giá trị thực trong khoảng $[0,1]$ sao cho thứ tự các giá trị ngôn ngữ của HA được đảm bảo. Các tác giả đã đưa ra khái niệm độ đo tính mờ của các phần tử sinh, độ đo tính mờ của các gia tử và xây dựng phép ánh xạ định lượng ngữ nghĩa của giá trị ngôn ngữ ($vAX : X \rightarrow [0,1]$). Các tham số này còn được gọi là các tham số của HA.

Các nghiên cứu ứng dụng HA có thể kể đến các ứng dụng ban đầu như: xây dựng mô hình cơ sở dữ liệu mờ [14], ứng dụng trong cơ sở dữ liệu mờ để quản lý tội phạm hình sự [16], chẩn đoán bệnh [36] và gần đây được ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển. Tuy nhiên, việc nghiên cứu ứng dụng HA vào lớp bài toán điều khiển vẫn còn là một hướng mới, cần được nghiên cứu một cách hệ thống và triển khai sâu rộng hơn.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước

Đa số các công trình đã nghiên cứu sử dụng HA ở cả trong và ngoài nước chủ yếu tập trung vào các bài toán trong công nghệ thông tin [4 - 7], [14], [16], [21] và mới được đề cập trong lĩnh vực điều khiển thời gian gần đây [12], [15], [27], [37].

Các tác giả trên thế giới sử dụng kết quả nghiên cứu về HA như những tài liệu tham khảo, trích dẫn để so sánh, đối chiếu với phương pháp điều khiển mờ, chẳng hạn như tác giả Bin-Da Liu và nhóm nghiên cứu trong [24], tác giả Eduard Bartl và nhóm nghiên cứu trong [28], ...

Theo hiểu biết có hạn của tác giả, một số kết quả nghiên cứu sử dụng HA trong lĩnh vực điều khiển được công bố chính thức từ năm 2008, đó là bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản một đầu vào [31], bài toán điều khiển con lắc ngược trong [37], bài toán dự báo động đất trong [27], ... Do

vậy, việc nghiên cứu và phát triển việc sử dụng HA trong lĩnh vực điều khiển là vấn đề cấp thiết và mang tính thời sự.

Những thành công đáng kể gần đây của HA là nhờ phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng HA hàm chứa rất nhiều các yếu tố mờ. Nội dung phương pháp là lập luận nội suy với các giá trị định lượng ngôn ngữ để giải quyết bài toán lập luận mờ đa điều kiện [4], [12], [21]. Với phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng HA, người sử dụng có thể lựa chọn những cách thức tiếp cận khác nhau để can thiệp trong mỗi bước tính của phương pháp. Chẳng hạn như vấn đề xác định các tham số của HA (gồm độ đo tính mờ của các phần tử sinh, độ đo tính mờ của các gia tử) hay vấn đề nội suy trên siêu mặt cho bởi mô hình mờ (nội suy từ mặt cong ngữ nghĩa định lượng) đã có nhiều tác giả nghiên cứu với các phương pháp tiếp cận và công cụ hỗ trợ khác nhau. Ngoài ra vấn đề thử nghiệm áp dụng HA trên các mô hình vật lý hệ thống cụ thể cũng đang thu hút được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Vì vậy, tác giả tiến hành phân tích đánh giá một số kết quả đạt được tập trung vào các vấn đề nêu trên, từ đó nghiên cứu đề xuất những hướng phát triển mới có thể ứng dụng được cho bài toán điều khiển các đối tượng công nghiệp nói chung cũng như đối tượng phi tuyến nói riêng.

1.2.1. Một số kết quả đạt được về phương pháp luận sử dụng HA và đề xuất phát triển hướng nghiên cứu

1.2.1.1. Vấn đề xác định tham số của đại số gia tử

a. Sử dụng trực giác để chọn các tham số

Tác giả trong [7], [12] và các công trình khác liên quan đã dùng trực giác lựa chọn các tham số của HA, chẳng hạn như có thể cảm nhận được độ đo tính mờ của các phần tử sinh *true*, *false* là bằng nhau và độ đo tính mờ của các gia tử *very*, *more*, *little*, *possibly* là bằng nhau.

Cách chọn các tham số bằng trực giác trong nghiên cứu trên tuy đơn giản nhưng không có cơ sở toán học và mới chỉ nghiên cứu ứng dụng với một số bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản, nhiều nhất là 2 đầu vào.

b. Sử dụng các công cụ tìm kiếm tối ưu

Trong [15], tác giả đã dùng trực giác lựa chọn các tham số của HA ở mức độ hợp lý nhưng chưa phải tối ưu, sau đó dùng giải thuật di truyền hiệu chỉnh các giá trị này đến giá trị tối ưu sao cho sai số của phương pháp lập luận là bé nhất. Kết quả nghiên cứu trên lớp bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản và có thể áp dụng hiệu quả với những hệ đơn điệu hoặc hệ dao động nhưng không có quá điều chỉnh.

Trong [4], [21], các tác giả cũng xác định tham số của HA bằng giải thuật di truyền với mục tiêu để sai số của phương pháp lập luận là bé nhất. Cách chọn tham số này có cơ sở toán học chặt chẽ, tuy nhiên có khi nó lại xác định được giá trị của các tham số quá lệch so với trực giác mà con người cảm nhận được (chẳng hạn khó có thể chấp nhận nếu độ đo tính mờ của *true* là 0.9 trong khi của *false* là 0.1). Phương pháp cũng khó có thể đạt được kết quả tốt khi áp dụng vào các bài toán điều khiển đối tượng phi tuyến vì hàm mục tiêu không phản ánh chính xác chất lượng quá trình quá độ.

1.2.1.2. Vấn đề nội suy trên mặt cong ngữ nghĩa định lượng

a. Sử dụng phép kết nhập

Trong một số nghiên cứu gần đây, các tác giả đã sử dụng phép kết nhập đầu vào để đưa các điểm cho bởi mô hình *SAM* thành một điểm trong mặt phẳng. Khi đó các điểm trong mô hình *SAM* tạo nên một đường cong (*gọi là đường cong ngữ nghĩa định lượng*) và bài toán lập luận trở thành bài toán nội suy kinh điển trên đường cong.

Trong [12], [15], các tác giả đã sử dụng phép kết nhập *AND* = “*PRODUCT*” hoặc *AND* = “*MIN*”. Tuy nhiên, hạn chế của phép kết

nhập này là thường gây mất thông tin, dẫn đến quá trình lập luận trở nên không chính xác.

Cũng đề cập tới việc nội suy bằng phép kết nhập [21], tác giả đã áp dụng phép kết nhập có trọng số chuyển đổi một điểm $(x_1, x_2, \dots, x_m) \in \mathbb{R}^m$ với véc tơ các trọng số (w_1, w_2, \dots, w_m) đã cho (thỏa mãn $w_1 + w_2 + \dots + w_m = 1$) thành giá trị $(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_mx_m) \in \mathbb{R}^m$ [46], lúc này tập tham số của phương pháp chính là các trọng số kết nhập. Phép kết nhập này rất đơn giản, hiệu quả và có thể ứng dụng giải quyết những bài toán đa biến đầu vào.

b. Sử dụng mạng nơron RBF (Radial Based Function)

Trong [4], [15], các tác giả đã sử dụng mạng nơron *RBF* giải quyết bài toán suy luận trực tiếp từ mặt cong ngữ nghĩa định lượng xây dựng trên cơ sở bảng SAM. Các điểm trong siêu mặt thực cho bởi bảng SAM sẽ được dùng làm tập mẫu để huấn luyện mạng, khi đó mạng nơron sẽ xấp xỉ siêu mặt và nội suy đầu ra ứng với các đầu vào. Ưu điểm của phương pháp này là đảm bảo không bị mất thông tin trong quá trình suy luận vì không sử dụng nội suy tuyến tính như [13], [21]. Tuy nhiên, kết quả trong [4], [15] cũng mới áp dụng đối với bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản, hai đầu vào.

1.2.1.3. Đề xuất phát triển hướng nghiên cứu

Từ việc phân tích trên, những kết quả nghiên cứu đạt được trong tiếp cận HA và cách xác định các tham số của HA bằng giải thuật di truyền đã thành công trong bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản, nhiều nhất là hai đầu vào, tuy nhiên khó có thể áp dụng được với các bài toán điều khiển phức tạp. Vì vậy, đối với các bài toán điều khiển đối tượng phi tuyến thì việc sử dụng HA vẫn còn rất mới và mở ra nhiều khả năng nghiên cứu.

Từ những nhận định trên, tác giả nhận thấy vấn đề nâng cao chất lượng và tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển là hướng nghiên cứu khá triển vọng đối với việc sử dụng lý thuyết HA trong điều khiển, mở ra một hướng

thiết kế mới trong lĩnh vực điều khiển tự động. Một số lợi ích có thể đạt được từ kết quả nghiên cứu của luận án như sau:

- Nghiên cứu cải tiến bộ điều khiển sử dụng HA với nhiều đầu vào sẽ giảm được số giá trị ngôn ngữ cho đầu vào và giảm được các luật điều khiển (bảng SAM) dẫn đến giảm được độ phức tạp của thuật toán thiết kế mà không làm phức tạp quá trình nội suy đường cong ngữ nghĩa.

- Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế là thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA theo một chỉ tiêu chất lượng đặt ra trước sẽ chọn được các tham số bộ điều khiển một cách tự động đồng thời khắc phục được việc xác định giá trị các tham số quá lệch so với trực giác mà con người cảm nhận được (vấn đề có thể gặp phải khi sử dụng công cụ hỗ trợ giải thuật di truyền với một trọng số kết nhập [4], [15], [21]).

1.2.2. Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm với HA và đề xuất phát triển hướng nghiên cứu

1.2.2.1. Một số kết quả nghiên cứu đạt được

Một số kết quả nghiên cứu sử dụng HA với bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản bằng phân tích toán học và mô phỏng [4], [21].

Kết quả trong [15] đã thí nghiệm bộ điều khiển mờ truyền thông và tiếp cận HA trên mô hình vật lý bài toán điều khiển lưu lượng nước (mô hình vật lý đơn giản một đầu vào).

1.2.2.2. Đề xuất phát triển hướng nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu sử dụng HA bằng lập trình mô phỏng trên các phần mềm chuyên dụng còn hạn chế và chưa có minh chứng cụ thể nào bằng thực nghiệm cho thấy tính khả dụng của HA vào điều khiển các hệ thống trong công nghiệp. Do vậy việc thực nghiệm nhằm khẳng định tính khả dụng của bộ điều khiển sử dụng HA cho các hệ thống công nghiệp là rất cấp thiết và cần

được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu kiểm chứng. Tác giả nhận thấy hướng nghiên cứu kiểm chứng bằng thực nghiệm bộ điều khiển sử dụng HA trên mô hình vật lý của đối tượng cụ thể sẽ mở ra khả năng ứng dụng HA vào nghiên cứu khoa học cũng như thực tế.

2. Tính khoa học và cấp thiết của luận án

Những hệ thống điều khiển hiện đại được thiết kế sử dụng các bộ điều khiển thông minh ngày càng được phát triển và ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp. Nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cũng như cải thiện các đặc tính của hệ thống, các hệ điều khiển phi tuyến được phát triển và ứng dụng ngày càng nhiều. Vấn đề giảm thời gian tính toán và đơn giản hóa việc lập trình cho vi xử lý (bộ điều khiển) được lựa chọn trong thực tế luôn được các nhà thiết kế quan tâm nghiên cứu cùng với các phương pháp điều khiển mới.

Hệ mờ và logic mờ do Zadeh L. đưa ra năm 1965 [39] đã cố gắng mô tả một cách toán học những khái niệm mơ hồ mà logic kinh điển không làm được, đó là việc xây dựng các phương pháp lập luận xấp xỉ để mô hình hóa quá trình suy luận của con người. Điều khiển mờ cũng đã đạt được nhiều thành công trong lĩnh vực điều khiển các đối tượng có thông tin không rõ ràng, không đầy đủ [10], [41], [43].

Lý thuyết HA đã được các tác giả Ho N.C và Wechler W. [32] đưa ra nhằm xây dựng cấu trúc toán học cho biến ngôn ngữ. Sử dụng HA là một cách tiếp cận mới trong tính toán cho bộ điều khiển mờ nên các nhà nghiên cứu có hướng tới việc ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển và tự động hóa. HA đã đạt được những thành công trong một số bài toán xấp xỉ hàm, chẩn đoán, dự báo [13], [36] và một số bài toán điều khiển có mô hình toán học đơn giản [31], [37].

Với hy vọng sử dụng HA như một hướng nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển (BĐK) trong các hệ thống tự động, cần nghiên cứu kiểm chứng một

cách hệ thống việc ứng dụng HA với nhiều lớp đối tượng trong công nghiệp. Tác giả đã nghiên cứu thử nghiệm bộ điều khiển sử dụng HA với nhiều đối tượng khác nhau và đã đạt được một số kết quả rất khả quan, các kết quả đạt được đều cho thấy khả năng ứng dụng được HA trong lĩnh vực điều khiển (công trình 2, 7, 8). Từ các kết quả nghiên cứu thành công ban đầu, tác giả tiếp tục kiểm chứng bộ điều khiển sử dụng HA cho một số lớp đối tượng khó điều khiển hơn trong công nghiệp (chẳng hạn như đối tượng tuyến tính có tham số thay đổi hay đối tượng có trễ lớn mà hằng số trễ lớn tới 40% so với hằng số thời gian của hệ thống, ...). Với các trải nghiệm trên, tác giả hướng tới mục tiêu nghiên cứu cải tiến bộ điều khiển nhằm *áp dụng cho các đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng* sao cho giảm được độ phức tạp và thời gian tính toán của vi xử lý (BĐK) trong thực tế.

3. Mục tiêu của luận án

3.1. Mục tiêu chung

Với mục tiêu nghiên cứu cải tiến bộ điều khiển sử dụng HA áp dụng cho các đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng sao cho giảm được độ phức tạp và thời gian tính toán của vi xử lý (BĐK) trong thực tế, tác giả sẽ tập trung vào vấn đề nâng cao chất lượng và tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển. Việc áp dụng kết quả nghiên cứu thành công sẽ mở ra một hướng phát triển mới trong thiết kế hệ thống tự động.

Với mong muốn ứng dụng được bộ điều khiển sử dụng HA trong các hệ thống công nghiệp, tác giả sẽ tiến hành một số thí nghiệm với mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể như hệ thống điều khiển chuyển động theo một quỹ đạo mẫu cho trước, hệ thống điều khiển theo nguyên lý chuyển động cánh tay robot,

3.2. Mục tiêu cụ thể

Tác giả đề xuất các mục tiêu nghiên cứu cụ thể như sau:

(1) Nghiên cứu một cách hệ thống việc ứng dụng đại số gia tử trong lĩnh vực điều khiển và kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng với một số đối tượng khó điều khiển trong công nghiệp.

(2) Đề xuất cải tiến nâng cao chất lượng bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử bằng việc tăng thêm đầu vào thứ ba và giảm lược số luật điều khiển.

(3) Đề xuất nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế bằng việc thiết kế bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch với công cụ hỗ trợ là giải thuật di truyền.

(4) Kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng và bước đầu thực nghiệm trên mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể.

4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: bộ điều khiển sử dụng HA và thuật toán tự động tìm tham số cho bộ điều khiển.

- Phạm vi nghiên cứu: phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA, các công cụ hỗ trợ tìm kiếm tối ưu, lập trình mô phỏng trên máy tính và thí nghiệm trên mô hình vật lý cụ thể.

- Phương pháp nghiên cứu:

+ Nghiên cứu lý thuyết, bao gồm: nghiên cứu đại số gia tử và ứng dụng trong điều khiển; Nghiên cứu cải tiến bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử; Nghiên cứu phương pháp thiết kế tự động tìm tham số cho bộ điều khiển với công cụ hỗ trợ là giải thuật di truyền.

+ Mô phỏng: lập trình mô phỏng trên Matlab_Simulink để kiểm chứng lại lý thuyết.

+ Thực nghiệm: tiến hành thí nghiệm kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết và kết quả mô phỏng trên mô hình vật lý hệ thống phi tuyến cụ thể.

5. Ý nghĩa lí luận và thực tiễn

5.1. Ý nghĩa lí luận

- Nghiên cứu sử dụng HA trong lĩnh vực điều khiển là vấn đề mới ở Việt Nam. Từ kết quả nghiên cứu của luận án sẽ làm cơ sở cho nhiều nghiên cứu tiếp theo nhằm triển khai ứng dụng được HA trong lĩnh vực điều khiển (điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số thay đổi, đối tượng có trễ lớn, đối tượng phi tuyến).

- Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ là một trong những công trình khoa học ứng dụng HA điều khiển đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng được công bố trong nước, mở ra khả năng ứng dụng của HA trong lĩnh vực điều khiển tự động.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Kết quả nghiên cứu sẽ làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, học viên cao học và nghiên cứu sinh quan tâm nghiên cứu bộ điều khiển sử dụng HA, có khả năng bổ sung phần thiết kế tự động bộ điều khiển sử dụng HA trong toolbox của MATLAB.

- Luận án là một trong những công trình đầu tiên kiểm chứng bộ điều khiển sử dụng HA bằng thực nghiệm với mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể. Kết quả đạt được đã khẳng định tính khả thi của bộ điều khiển sử dụng HA trong các hệ thống công nghiệp.

- Kết quả nghiên cứu đã giảm được thời gian tính toán cho vi xử lý (bộ điều khiển) được lựa chọn thực tế, mở ra khả năng tích hợp bộ điều khiển sử dụng HA trong các hệ vi xử lý hoặc các thiết bị tự động khác như PLC, máy tính công nghiệp, ...

6. Bố cục và nội dung của luận án

Luận án được bố cục thành 4 chương với nội dung như sau:

Chương 1: Các kiến thức cơ sở

Tổng quan về các kiến thức dùng để nghiên cứu và phát triển phương pháp điều khiển sử dụng HA, bao gồm hệ logic mờ, lý thuyết HA và thuật toán tìm kiếm sử dụng giải thuật di truyền. Các kiến thức tổng quan trong chương 1 sẽ đóng vai trò rất quan trọng, làm nền tảng cho các kết quả nghiên cứu trong chương 2 và chương 3.

Chương 2: Ứng dụng Đại số gia tử trong điều khiển

Phần đầu chương giới thiệu phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA và tiến hành áp dụng cho nhiều lớp đối tượng khác nhau.

Phần tiếp theo đi sâu nghiên cứu khẳng định tính khả thi của bộ điều khiển sử dụng HA trong công nghiệp bằng việc thiết kế cụ thể cho một số đối tượng khó điều khiển, kết quả được kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên Matlab cho 3 đối tượng:

- (1) Điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số biến đổi.
- (2) Điều khiển đối tượng phi tuyến đã được tuyến tính hóa.
- (3) Điều khiển đối tượng có trễ lớn (hằng số trễ lớn tới 40% so với hằng số thời gian của hệ thống).

Chương 3: Cải tiến bộ điều khiển sử dụng Đại số gia tử

Trong chương này, luận án nghiên cứu cải tiến và tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA áp dụng cho đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng với mục tiêu:

- Nâng cao chất lượng bộ điều khiển bằng việc tăng thêm đầu vào và giảm số luật điều khiển.
- Tối ưu hóa quá trình thiết kế bằng việc xây dựng phương pháp tự động tìm tham số HAC sử dụng công cụ hỗ trợ là giải thuật di truyền.

Các kết quả được minh họa kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên Matlab với hệ thống cụ thể.

Chương 4: Thực nghiệm

Nhằm kiểm chứng các kết quả lý thuyết đạt được trong chương 2 và chương 3, nội dung chương trình bày việc thí nghiệm bộ điều khiển sử dụng HA trên mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể.

Cuối cùng là kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án.

CHƯƠNG 1

CÁC KIẾN THỨC CƠ SỞ

Tóm tắt chương 1

- *Tổng quan hệ logic mờ và phương pháp điều khiển.*
- *Tổng quan lý thuyết đại số gia tử và phương pháp lập luận xấp xỉ.*
- *Tổng quan giải thuật di truyền.*

1.1. Hệ logic mờ và phương pháp điều khiển

Từ những năm 90, hệ logic mờ (Fuzzy logic system) được các nhà khoa học đặc biệt quan tâm nghiên cứu và ứng dụng nhiều vào sản xuất [39]. Tập mờ và logic mờ (Fuzzy set and Fuzzy logic) thực hiện lập luận một cách xấp xỉ thay vì lập luận chính xác theo logic vị từ cổ điển nhằm mục tiêu điều khiển hệ thống. Cho đến nay, đã có rất nhiều công trình nghiên cứu và ứng dụng logic mờ trong điều khiển hệ thống [41], [44], [45], tuy vậy cả về mặt phương pháp luận và ứng dụng thực tế của logic mờ vẫn còn đang là một miền đất hứa phát triển mạnh mẽ. Logic mờ có khả năng mô tả các trạng thái sự việc, có khả năng lượng hóa các hiện tượng nhập nhằng hoặc là thông tin hiểu biết về các đối tượng không đầy đủ, không chính xác và cho phép phân loại các lớp quan niệm chồng lấn lên nhau.

Điều khiển mờ chính là bắt chước cách xử lý thông tin và điều khiển của con người đối với các đối tượng, do vậy điều khiển mờ đã giải quyết thành công các vấn đề điều khiển phức tạp trước đây chưa giải quyết được. Những ý tưởng cơ bản trong hệ điều khiển mờ là tích hợp kiến thức của các chuyên gia vào các bộ điều khiển trong quá trình điều khiển [1 - 3], [8], [18]. Quan hệ giữa các đầu vào và đầu ra của hệ điều khiển mờ được thiết lập thông qua việc lựa chọn các luật điều khiển mờ (if - then) trên các biến ngôn ngữ.

Các luật mờ và các thiết bị suy luận mờ là những công cụ gắn liền với việc sử dụng kinh nghiệm chuyên gia trong việc thiết kế các bộ điều khiển.

1.1.1. Mô hình mờ

Mô hình mờ là một tập các luật mà mỗi luật là một mệnh đề dạng “If...then...”, trong đó phần “If” được gọi là mệnh đề điều kiện hay tiền đề, còn phần “then” được gọi là phần kết luận. Mô hình mờ có hai dạng:

- Mô hình mờ dạng đơn giản là tập các luật mà trong đó mỗi luật chỉ chứa một điều kiện và một kết luận được cho như sau:

$$\begin{aligned} &\text{if } X=A_1 \text{ then } Y=B_1 \\ &\text{if } X=A_2 \text{ then } Y=B_2 \\ &\dots\dots\dots \\ &\text{if } X=A_n \text{ then } Y=B_n \end{aligned} \tag{1.1}$$

trong đó X, Y là các biến ngôn ngữ thuộc không gian U, V tương ứng và các giá trị ngôn ngữ $A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_n$ là các tập mờ.

- Mô hình mờ dạng tổng quát là một tập các luật mà phần tiền đề của mỗi luật là một điều kiện phức hợp được viết như sau:

$$\begin{aligned} &\text{if } X_1=A_{11} \text{ and } \dots \text{ and } X_m=A_{1m} \text{ then } Y=B_1 \\ &\text{if } X_1=A_{21} \text{ and } \dots \text{ and } X_m=A_{2m} \text{ then } Y=B_2 \\ &\dots\dots\dots \\ &\text{if } X_1=A_{n1} \text{ and } \dots \text{ and } X_m=A_{nm} \text{ then } Y=B_n \end{aligned} \tag{1.2}$$

ở đây X_1, X_2, \dots, X_m và Y là các biến ngôn ngữ, A_{ij}, B_i ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) là các giá trị ngôn ngữ tương ứng.

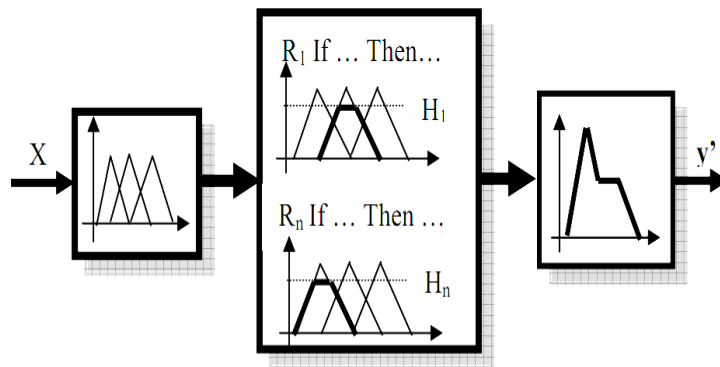
- Mô hình (1.1) còn được gọi là mô hình mờ đơn điều kiện và mô hình (1.2) được gọi là mô hình mờ đa điều kiện, ngoài ra (1.2) còn được gọi là bộ nhớ

kết hợp mờ - FAM (Fuzzy Associate Memory) vì nó biểu diễn tri thức của chuyên gia trong lĩnh vực ứng dụng nào đó đang được xét.

1.1.2. Bộ điều khiển logic mờ

1.1.2.1. Bộ điều khiển mờ - FLC (Fuzzy Logic Controller)

Bộ điều khiển mờ gồm ba khâu cơ bản là khâu mờ hoá, khâu thực hiện luật hợp thành và khâu giải mờ, có sơ đồ khối như hình 1.1.



Hình 1.1. Sơ đồ khối chức năng bộ FLC

- **Khâu mờ hoá:** có nhiệm vụ biến đổi các giá trị rõ đầu vào thành một miền giá trị mờ với hàm liên thuộc đã chọn ứng với biến ngôn ngữ đầu vào đã được định nghĩa.

- **Khâu thực hiện luật hợp thành:** bản chất của nó là triển khai luật hợp thành R được xây dựng trên cơ sở các luật điều khiển.

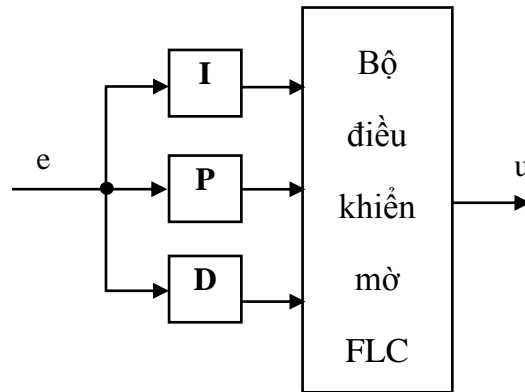
Các luật điều khiển mờ cơ bản là tập các mệnh đề hợp thành có cấu trúc if ... then ... và nguyên tắc triển khai các mệnh đề hợp thành đó có tên là MAX-MIN hay SUM-MIN, ...

Mô hình R của luật điều khiển được xây dựng theo một nguyên tắc triển khai đã chọn trước và có tên gọi là luật hợp thành.

- **Khâu giải mờ:** biến đổi các giá trị mờ đầu ra thành các giá trị rõ để điều khiển đối tượng.

1.1.2.2. Bộ điều khiển mờ động

Để mở rộng ứng dụng cho các bài toán điều khiển, người ta thường bổ sung thêm đầu vào FLC các khâu tích phân, đạo hàm. Bộ điều khiển có dạng như hình 1.2 được gọi là bộ điều khiển mờ động.

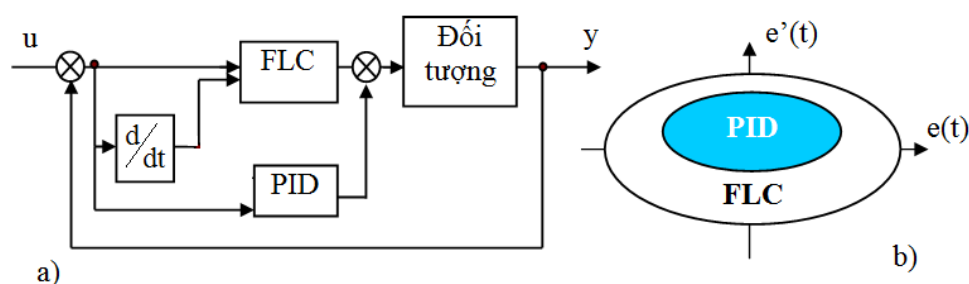


Hình 1.2. Bộ điều khiển mờ động

1.1.2.3. Bộ điều khiển mờ lai – F_PID

Bộ điều khiển F_PID là bộ điều khiển trong đó thiết bị điều khiển gồm 2 thành phần: thành phần điều khiển kinh điển và thành phần điều khiển mờ. Bộ điều khiển F_PID có thể thiết lập dựa trên hai tín hiệu là sai lệch $e(t)$ và đạo hàm $e'(t)$ của nó. Bộ điều khiển mờ có đặc tính rất tốt ở vùng sai lệch lớn, đặc tính phi tuyến của nó có thể tạo ra phản ứng động rất nhanh. Khi quá trình của hệ tiến gần đến điểm đặt (sai lệch $e(t)$ và đạo hàm $e'(t)$ của nó xấp xỉ bằng 0) vai trò của FLC bị hạn chế nên bộ điều khiển sẽ làm việc như một bộ điều chỉnh PID bình thường.

Trên hình 1.3 thể hiện bộ điều khiển mờ lai F_PID và phân vùng tác động của chúng.



Hình 1.3. a) Sơ đồ F_PID

b) Vùng tác động các BDK

Sự chuyển đổi giữa các vùng tác động của FLC và PID có thể thực hiện nhờ khoá mờ hoặc dùng chính FLC. Nếu sự chuyển đổi dùng FLC thì ngoài nhiệm vụ là bộ điều chỉnh FLC còn làm nhiệm vụ giám sát hành vi của hệ thống để thực hiện sự chuyển đổi. Việc chuyển đổi tác động giữa FLC và PID có thể thực hiện nhờ luật đơn giản sau:

$$\text{if } |e(t)|/\text{dương lớn và } |\dot{e}(t)|/\text{dương lớn thì } u \text{ là FLC} \quad (1.3)$$

$$\text{if } |e(t)|/\text{dương nhỏ và } |\dot{e}(t)|/\text{dương nhỏ thì } u \text{ là PID} \quad (1.4)$$

1.1.3. Ưu nhược điểm

- Hệ mờ và logic mờ là một cách tiếp cận khá hiệu quả cho nhận dạng và điều khiển các hệ thống phi tuyến nhờ khả năng xấp xỉ của nó. So với các giải pháp kỹ thuật từ trước tới nay được áp dụng, phương pháp điều khiển mờ có những ưu điểm rõ rệt:

- + Khối lượng công việc thiết kế giảm đi nhiều do không cần sử dụng mô hình đối tượng trong việc tổng hợp hệ thống.
- + Bộ điều khiển mờ dễ hiểu và dễ thay đổi hơn so với các bộ điều khiển khác (cả về kỹ thuật).
- + Đối với các bài toán thiết kế có độ phức tạp cao, giải pháp dùng bộ điều khiển mờ cho phép giảm khối lượng tính toán và giá thành sản phẩm.
- + Trong nhiều trường hợp, bộ điều khiển mờ làm việc ổn định, bền vững, khả năng chống nhiễu và chất lượng điều khiển cao hơn.

- Tuy nhiên vẫn còn một số vấn đề cần được giải quyết, chẳng hạn như bao nhiêu luật mờ là thực sự cần thiết cho việc xấp xỉ có hiệu quả đối với một hệ phi tuyến chưa biết trước, các hàm liên thuộc được chọn như thế nào, ...

1.2. Lý thuyết Đại số gia tử

1.2.1. Biến ngôn ngữ

Khái niệm biến ngôn ngữ lần đầu tiên được Zadeh giới thiệu trong [39], ta có thể hình dung khái niệm này qua định nghĩa 1.1.

Định nghĩa 1.1 *Biến ngôn ngữ được đặc trưng bởi một bộ gồm năm thành phần $(X, T(X), U, R, M)$, X là tên biến, $T(X)$ là tập các giá trị ngôn ngữ của biến X , U là không gian tham chiếu của biến cơ sở u , mỗi giá trị ngôn ngữ xem như là một biến mờ trên U kết hợp với biến cơ sở u , R là một qui tắc cú pháp sinh các giá trị ngôn ngữ cho tập $T(X)$, M là qui tắc ngữ nghĩa gán mỗi giá trị ngôn ngữ trong $T(X)$ với một tập mờ trên U .*

Ví dụ 1.1. Xét biến ngôn ngữ có tên là *SPEED*, tức $X = \text{SPEED}$, biến cơ sở u có miền xác định là $U = [0, 15]$. Khi đó tập các giá trị ngôn ngữ tương ứng của biến ngôn ngữ là $T(\text{SPEED})$ bao gồm các giá trị:

<i>slow</i>	<i>fast</i>	<i>not slow or fast</i>
<i>not slow</i>	<i>not fast</i>	<i>not very slow not very fast</i>
<i>very slow</i>	<i>very fast</i>	<i>slow or fast</i>
<i>more-or-less slow</i>	<i>more-or-less fast</i>	...
<i>possibly slow</i>	<i>possibly fast</i>	...
...

Các giá trị ngôn ngữ *slow* và *fast* được gọi là các giá trị nguyên thủy. Mỗi giá trị ngôn ngữ trong $T(\text{SPEED})$ là biến có thể nhận giá trị trên U với mỗi giá trị ứng với một mức độ tương thích trong đoạn $[0, 1]$. Tuy nhiên ngữ

nghĩa của các giá trị khác trong $T(SPEED)$ có thể tính thông qua tập mờ của các giá trị nguyên thủy bởi các phép toán tương ứng với các gia tử tác động (*not, very, more-or-less, ...*)

Trong các nghiên cứu của mình về biến ngôn ngữ và lập luận xấp xỉ, Zadeh luôn nhấn mạnh hai đặc trưng quan trọng nhất của biến ngôn ngữ: đặc trưng thứ nhất là tính phổ quát cấu trúc miền giá trị của chúng, tức là miền giá trị của hầu hết các biến ngôn ngữ có cùng cấu trúc cơ sở theo nghĩa các giá trị ngôn ngữ tương ứng là giống nhau ngoại trừ phần tử sinh nguyên thủy. Đặc trưng thứ hai là tính chất ngữ nghĩa độc lập ngữ cảnh của các gia tử và các liên từ, trong khi ngữ nghĩa của các phần tử sinh nguyên thủy là phụ thuộc ngữ cảnh. Đặc trưng này có thể thấy từ việc xác định ngữ nghĩa tập mờ cho các giá trị ngôn ngữ như đã nêu ở trên.

Hai đặc trưng trên của biến ngôn ngữ cho phép ta sử dụng một tập các gia tử ngôn ngữ cho nhiều biến ngôn ngữ khác nhau và có thể mô tả hình thức miền giá trị của các biến ngôn ngữ bởi một cấu trúc ngôn ngữ toán học thuần nhất. Vấn đề quan trọng nhất ở đây là mô hình phải dựa trên các yếu tố nào để cho cấu trúc toán học đó phản ánh được càng nhiều ngữ nghĩa tự nhiên của giá trị ngôn ngữ.

Một cách tiếp cận đến vấn đề này đã được đề xuất trong [31 - 35] dựa trên một số đặc trưng ngôn ngữ sau: các giá trị ngôn ngữ có ngữ nghĩa tự nhiên của chúng khi được con người sử dụng trong cuộc sống hàng ngày, con người sử dụng ngữ nghĩa này để xác định quan hệ thứ tự giữa các giá trị ngôn ngữ của cùng một biến. Các gia tử ngôn ngữ được con người sử dụng để nhấn mạnh về mặt ngữ nghĩa của giá trị ngôn ngữ, tức là mỗi gia tử có thể làm mạnh lên hoặc yếu đi ngữ nghĩa tự nhiên của giá trị ngôn ngữ được tác động.

Với mỗi giá trị ngôn ngữ x trong $T(X)$ và tập H các gia tử ngôn ngữ, khi đó H sẽ được phân hoạch thành hai tập con rời nhau sao cho một tập chứa các

gia tử làm tăng ngữ nghĩa của x và tập còn lại chứa các gia tử làm giảm ngữ nghĩa của x . Hơn nữa trong mỗi tập con đó của H , các gia tử cũng được sắp thứ tự theo độ nhấn ngữ nghĩa của chúng, ví dụ như độ nhấn ngữ nghĩa của gia tử *very* được xem là mạnh hơn gia tử *more*.

1.2.2. Đại số gia tử của biến ngôn ngữ

Giả sử X là một biến ngôn ngữ và miền giá trị của X là $Dom(X)$. Một HA tương ứng của X là một bộ $AX = (Dom(X), C, H, \leq)$ trong đó C là tập các phần tử sinh, H là tập các gia tử và quan hệ “ \leq ” là quan hệ cảm sinh bởi ngữ nghĩa trên X .

Ví dụ 1.2. Giả sử X là tốc độ quay của một động cơ thì $Dom(X) = \{fast, very\ fast, possible\ fast, very\ slow, low, \dots\} \cup \{0, W, I\}$, $C = \{fast, slow, 0, W, I\}$ với $0, W, I$ là phần tử bé nhất, phần tử trung hòa và phần tử lớn nhất tương ứng, $H = \{very, more, possible, little\}$.

Trong $AX = (Dom(X), C, H, \leq)$ nếu $Dom(X)$ và C là tập sắp thứ tự tuyến tính thì AX được gọi là HA tuyến tính. Từ đây về sau để tránh nhầm lẫn chúng ta có thể sử dụng ký hiệu X thay cho $Dom(X)$.

Theo [32], cấu trúc AX được xây dựng từ một số tính chất của các phần tử ngôn ngữ. Các tính chất này được biểu thị bởi quan hệ thứ tự ngữ nghĩa \leq của X . Sau đây ta sẽ nhắc lại một số tính chất trực giác:

- Hai phần tử sinh của biến ngôn ngữ có khuynh hướng ngữ nghĩa trái ngược nhau: *fast* có khuynh hướng “đi lên” gọi là hướng dương (ký hiệu c^+), *slow* có khuynh hướng “đi xuống” gọi là hướng âm (ký hiệu c^-). Theo quan hệ thứ tự ngữ nghĩa, ta có $c^+ > c^-$ (chẳng hạn *fast* > *slow*, *true* > *false*).
- Về trực giác, mỗi gia tử có khuynh hướng làm tăng hoặc giảm ngữ nghĩa của phần tử sinh nguyên thủy (chẳng hạn *very fast* > *fast* và *very slow* < *slow*), điều này có nghĩa gia tử *very* làm mạnh thêm ngữ nghĩa của cả hai phần tử

sinh *fast, slow*. Nhưng *little fast < fast, little slow > slow*, vì thế *little* có khuynh hướng làm yếu đi ngữ nghĩa của phần tử sinh. Ta nói *very* là gia tử dương và *little* là gia tử âm, ký hiệu H^- là tập các gia tử âm, H^+ là tập các gia tử dương và $H = H^- \cup H^+$.

- Hơn nữa, chúng ta nhận thấy mỗi gia tử đều có sự ảnh hưởng (làm tăng hoặc làm giảm) đến ngữ nghĩa của các gia tử khác. Vì vậy, nếu k làm tăng ngữ nghĩa của h , ta nói k là dương đối với h . Ngược lại, nếu k làm giảm ngữ nghĩa của h , ta nói k là âm đối với h . Chẳng hạn xét các gia tử ngôn ngữ V (*Very*), M (*More*), L (*Little*), P (*Possible*) của biến ngôn ngữ $TRUTH$. Vì $Ltrue < true$ và $VLtrue < Ltrue < PLtrue$ nên V là dương đối với L , còn P là âm đối với L . Tính âm, dương của các gia tử đối với các gia tử khác không phụ thuộc vào phần tử ngôn ngữ mà nó tác động. Thật vậy, nếu V dương đối với L thì với bất kỳ phần tử x , ta có nếu $x \leq Lx$ thì $Lx \leq VLx$ hay nếu $x \geq Lx$ thì $Lx \geq VLx$.

Nhìn chung, với bất kỳ $h, k \in H$, h được gọi là dương đối với k nếu $\forall x \in X \{(kx \geq x \Rightarrow h kx \geq kx) \text{ hay } (kx \leq x \Rightarrow h kx \leq kx)\}$. Tương tự, h được gọi là âm đối với k nếu $\forall x \in X \{(kx \geq x \Rightarrow h kx \leq kx) \text{ hay } (kx \leq x \Rightarrow h kx \geq kx)\}$.

Bảng 1.1. Ví dụ về tính âm dương giữa các gia tử

	V	M	P	L
V	+	+	–	+
M	+	+	–	+
P	–	–	+	–
L	–	–	+	–

- Một tính chất ngữ nghĩa quan trọng của các gia tử được gọi là tính kế thừa. Tính chất này thể hiện ở chỗ khi tác động gia tử vào một giá trị ngôn ngữ thì ngữ nghĩa của giá trị này bị thay đổi nhưng vẫn giữ được ngữ nghĩa gốc của nó. Điều này có nghĩa là với mọi gia tử h , giá trị hx thừa kế ngữ nghĩa của x . Tính chất này góp phần bảo tồn quan hệ thứ tự ngữ nghĩa: nếu $hx \leq kx$ thì $h' hx \leq k' kx$, hay tương ứng h' và k' bảo tồn quan hệ ngữ nghĩa của hx và kx .

(chẳng hạn như theo trực giác ta có $L_{true} \leq P_{true}$, khi đó ta sẽ có $Pl_{true} \leq Lp_{true}$).

1.2.3. Các tính chất cơ bản của HA tuyến tính

Trước hết ta thấy rằng khi tác động gia tử $h \in H$ vào phần tử $x \in X$, thì ta thu được phần tử ký hiệu hx . Với mỗi $x \in X$, ta ký hiệu $H(x)$ là tập tất cả các phần tử u thuộc X xuất phát từ x bằng cách sử dụng các gia tử trong H và ta viết $u = h_n \dots h_1 x$ với $h_n, \dots, h_1 \in H$.

Định lý 1.1. ([32]) Cho tập H^- và H^+ là các tập sắp thứ tự tuyến tính của HA $AX = (X, G, H, \leq)$, khi đó ta có các khẳng định sau:

- (1) Với mỗi $u \in X$ thì $H(u)$ là tập sắp thứ tự tuyến tính.
- (2) Nếu X được sinh từ G bởi các gia tử và G là tập sắp thứ tự tuyến tính thì X cũng là tập sắp thứ tự tuyến tính. Hơn nữa nếu $u < v$ và u, v là độc lập với nhau, tức là $u \notin H(v)$ và $v \notin H(u)$ thì $H(u) \leq H(v)$.

Trong [32] khẳng định mỗi miền ngôn ngữ của biến ngôn ngữ có thể được tiên đề hóa và được gọi là HA - $AX = (X, G, H, \leq)$, trong đó H là tập thứ tự tuyến tính bộ phận, và chúng ta có định lý sau:

Định lý 1.2. ([32]) Cho HA là $AX = (X, G, H, \leq)$, khi đó ta có các khẳng định:

- (1) Các toán tử trong H^c là so sánh được với nhau, $c \in \{+, -\}$.
- (2) Nếu $x \in X$ là điểm bất động đối với toán tử $h \in H$, tức là $hx = x$, thì nó là điểm bất động đối với các gia tử khác.
- (3) Nếu $x = h_n \dots h_1 u$ thì tồn tại chỉ số i sao cho $h_i \dots h_1 u$ của x là một biểu diễn chuẩn của x tương ứng với u ($x = h_i \dots h_1 u$ và $h_i \dots h_1 u \neq h_{i-1} \dots h_1 u$) và $h_j x = x$ với mọi $j > i$.
- (4) Nếu $h \neq k$ và $hx = kx$ thì x là điểm bất động.

- (5) Với bất kỳ gia tử $h, k \in H$, nếu $x \leq hx$ ($x \geq hx$) thì $x \leq hx$ ($x \geq hx$) và nếu $hx < kx$, $h \neq k$, thì $hx \leq kx$.

1.2.4. Hàm độ đo tính mờ trong đại số gia tử tuyến tính

Trong phần này ta sử dụng $AX = (X, C, H, \leq)$ là HA tuyến tính có $C = \{c^-, c^+\} \cup \{0, W, I\}$, $H = H^- \cup H^+$, $H^- = \{h_{-1}, h_{-2}, \dots, h_{-q}\}$ thỏa mãn $h_{-1} < h_{-2} < \dots < h_{-q}$ và $H^+ = \{h_1, h_2, \dots, h_p\}$ thỏa mãn $h_1 < h_2 < \dots < h_p$.

Gọi $H(x)$ là tập các phần tử của X sinh ra từ x bởi các gia tử. Nghĩa là $H(x)$ bao gồm các khái niệm mờ mà nó phản ánh ý nghĩa nào đó của khái niệm x . Vì vậy, kích thước của tập $H(x)$ có thể biểu diễn tính mờ của x . Từ đó, ta có thể định nghĩa độ đo tính mờ như sau: độ đo tính mờ của x , ta ký hiệu là $fm(x)$, là đường kính của tập $f(H(x)) = \{f(u) : u \in H(x)\}$.

Định nghĩa 1.2. Cho HA là $AX = (X, C, H, \leq)$, hàm $fm: X \rightarrow [0,1]$ được gọi là hàm độ đo tính mờ của các phần tử trong X nếu:

$$(1) \quad fm(c^-) + fm(c^+) = 1 \text{ và } \sum_{h \in H} fm(hu) = fm(u) \text{ với } \forall u \in X.$$

$$(2) \quad fm(x) = 0 \text{ với } \forall x \text{ sao cho } H(x) = \{x\}. \text{ Đặc biệt } fm(0) = fm(W) = fm(I) = 0$$

$$(3) \quad \forall x, y \in X, \forall h \in H, \frac{fm(hx)}{fm(x)} = \frac{fm(hy)}{fm(y)}, \text{ tỷ lệ này không phụ thuộc vào } x,$$

y và được gọi là độ đo tính mờ của gia tử h , ký hiệu là $\mu(h)$.

Điều kiện (1) có nghĩa là các phần tử sinh và các gia tử là đủ để mô hình hóa ngữ nghĩa của miền giá trị thực của các biến vật lý. Tập gia tử H và hai phần tử sinh nguyên thủy c^-, c^+ đủ để phủ toàn bộ miền giá trị thực của biến ngôn ngữ.

Về trực giác, ta có điều kiện (2) và (3) thể hiện sự tác động của gia tử h nào đó vào các khái niệm mờ là giống nhau (không phụ thuộc khái niệm mờ).

Mệnh đề 1.1. Cho fm là hàm độ đo tính mờ trên X , ta có:

$$(1) fm(hx) = \mu(h)fm(x) \text{ với } \forall x \in X.$$

$$(2) \sum_{-q \leq i \leq p, i \neq 0} fm(h_i c) = fm(c) \text{ với } c \in \{c^-, c^+\}.$$

$$(3) fm(c^-) + fm(c^+) = 1.$$

$$(4) \sum_{-q \leq i \leq p, i \neq 0} fm(h_i x) = fm(x).$$

$$(5) \sum_{-q \leq i \leq -1} \mu(h_i) = \alpha \text{ và } \sum_{1 \leq i \leq p} \mu(h_i) = \beta, \text{ trong đó } \alpha, \beta > 0 \text{ và } \alpha + \beta = 1.$$

Định nghĩa 1.3. Hàm dấu $sign: X \rightarrow \{-1, 0, 1\}$ được định nghĩa đệ quy

$$(1) sign(c^-) = -1, sign(c^+) = +1.$$

$$(2) sign(h'hx) = -sign(hx) \text{ nếu } h' \text{ âm đối với } h \text{ và } h'hx \neq hx.$$

$$(3) sign(h'hx) = sign(hx) \text{ nếu } h' \text{ dương đối với } h \text{ và } h'hx \neq hx.$$

$$(4) sign(h'hx) = 0 \text{ nếu } h'hx = hx.$$

Mệnh đề 1.2. Với mọi gia tử h và phân tử $x \in X$ nếu $sign(hx) = +1$ thì $hx > x$ và nếu $sign(hx) = -1$ thì $hx < x$.

Định nghĩa 1.4. Cho fm là hàm độ đo tính mờ trên X , một hàm định lượng ngữ nghĩa v trên X (kết hợp với fm) được định nghĩa như sau:

$$(1) v(W) = \theta = fm(c^-), v(c^-) = \theta - \alpha fm(c^-), v(c^+) = \theta + \alpha fm(c^+) \text{ với } 0 < \theta < 1.$$

$$(2) v(h_j x) = v(x) + sign(h_j x) \left(\sum_{i=sign(j)}^j fm(h_i x) - \omega(h_j x) fm(h_j x) \right)$$

$$\text{với } j \in [-q^+ p], \text{ trong đó: } \omega(h_j x) = \frac{1}{2} (1 + sign(h_j x) sign(h_p h_j x) (\beta - \alpha)) \in \{\alpha, \beta\}.$$

$$\text{với } [-q^+ p] = \{j: -q \leq j \leq p \text{ \& } j \neq 0\}.$$

Mệnh đề 1.3. Với mọi phân tử $x \in X$ ta có $0 \leq v(x) \leq 1$.

1.2.5. Phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng đại số gia tử

Theo tiếp cận của HA, mô hình mờ (1.2) được xem như một tập hợp các “điểm mờ”. Với việc sử dụng các ánh xạ ngữ nghĩa định lượng v , mỗi điểm của mô hình mờ trên có thể được biểu diễn bằng một điểm của siêu mặt thực và tập các điểm thực cho ta một mô hình gọi là bộ nhớ kết hợp định lượng - SAM (Semantization Associate Memory). Sử dụng toán tử kết nhập để kết nhập các điều kiện trong mô hình mờ, khi đó ta có thể chuyển siêu mặt thực về đường cong thực trong mặt phẳng, đường cong này còn được gọi là *đường cong ngữ nghĩa định lượng*. Do đó, bài toán lập luận ban đầu sẽ chuyển về bài toán nội suy kinh điển.

Phương pháp này có thể được khái quát qua các bước như sau:

Bước 1: Xây dựng các HA là AX_i cho các biến ngôn ngữ X_i và AY cho biến ngôn ngữ Y .

Bước 2: Sử dụng các ánh xạ ngữ nghĩa định lượng v_{X_i} và v_Y chuyển đổi mô hình mờ FAM về mô hình SAM.

Bước 3: Sử dụng một phép kết nhập đưa mô hình SAM về đường cong gọi là đường cong ngữ nghĩa định lượng.

Bước 4: Với mỗi giá trị đầu vào thực (hoặc mờ) ta xác định giá trị định lượng tương ứng, sử dụng phép kết nhập và xác định đầu ra tương ứng bằng phép nội suy tuyến tính trên mặt cong, việc giải định lượng đầu ra của phép nội suy sẽ cho kết quả lập luận.

Phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng HA hàm chứa rất nhiều các yếu tố mở cho người sử dụng tiếp cận và phát triển (chẳng hạn như có nhiều cách chọn giá trị các tham số của HA, ...). Sau đây là một số kết quả nghiên cứu đã đạt được:

a. Lựa chọn các tham số của các đại số gia tử

Chúng ta biết rằng mô hình mờ (1.2) chứa $(m + 1)$ biến ngôn ngữ, tương ứng với đó là $(m + 1)$ HA trong phương pháp lập luận sử dụng HA là AX_i ($i = 1, \dots, m+1$), trong đó $AY = AX_{m+1}$ nên các tham số của HA gồm:

- Độ đo tính mờ của các phần tử sinh

$$fm_{AX_i}(c^-), fm_{AX_i}(c^+) \text{ thỏa mãn } fm_{AX_i}(c^-) + fm_{AX_i}(c^+) = 1$$

- Độ đo tính mờ của các gia tử $\mu_{AX_i}(h_j)$ thỏa mãn $\sum_{j=-q_i}^{-1} \mu_{AX_i}(h_j) = \alpha$,
 $\sum_{j=1}^{p_i} \mu_{AX_i}(h_j) = \beta$ sao cho $\alpha + \beta = 1$.

Các kết quả nghiên cứu đã đạt được là sử dụng trực giác và bằng giải thuật di truyền với mục tiêu làm cho sai số của phương pháp lập luận bé nhất để chọn các tham số này.

b. Xác định phép kết nhập và phép nội suy

Trong một số nghiên cứu đã sử dụng các *phép kết nhập* $AND = "PRODUCT"$ hoặc $AND = "MIN"$ để đưa bảng SAM về đường cong ngữ nghĩa định lượng, đầu ra được xác định dựa trên việc định lượng, kết nhập các đầu vào và nội suy tuyến tính trên đường cong này.

Cũng đề cập tới việc xây dựng phép nội suy bằng phép kết nhập, các tác giả đã xây dựng phép *kết nhập có trọng số* và sử dụng giải thuật di truyền để xác định các trọng số này sao cho sai số của phương pháp là tối ưu.

Việc sử dụng *mạng nơ ron để nội suy* cũng đã được nghiên cứu, theo đó một mạng nơ ron *RBF* được xây dựng để xấp xỉ các điểm mô hình SAM và đầu ra của lập luận được nội suy nhờ mạng nơ ron.

c. Vấn đề định lượng đầu vào thực

Chúng ta biết rằng phép nội suy được xây dựng từ các mốc nội suy trong bảng SAM, nên đầu vào của nó phải là các giá trị định lượng, chúng ta không gặp khó khăn gì khi định lượng đầu vào mờ vì đã có hàm định lượng ngữ nghĩa v_{AXi} , với đầu vào là giá trị thực thì việc định lượng thường được thiết lập theo nguyên tắc trong [31- 35].

Giả sử biến ngôn ngữ X thuộc khoảng thực $[x_0, x_1]$ và các nhãn ngôn ngữ của nó nhận giá trị định lượng trong khoảng định lượng ngữ nghĩa tương ứng $[s_0, s_1]$, khi đó giá trị thực $x \in [x_0, x_1]$ được định lượng theo (1.5):

$$\text{Normalization}(x) = s_0 + \frac{s_1 - s_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (1.5)$$

Vấn đề giải định lượng được tiến hành ngược lại theo (1.6):

$$\text{Denormalization}(s) = x_0 + \frac{x_1 - x_0}{s_1 - s_0} (s - s_0) \quad (1.6)$$

d. Ví dụ

Để có cái nhìn chi tiết hơn về phương pháp lập luận sử dụng HA và làm rõ hơn về các yếu tố ảnh hưởng đến phương pháp lập luận sử dụng HA ta sẽ xét ví dụ bài toán điều khiển mô hình máy bay hạ cánh [4].

Cho mô hình máy bay hạ cánh với phương trình động học đã được rời rạc như công thức (1.7), trong đó $v(i)$, $h(i)$, $f(i)$ là tốc độ (ft/s), độ cao (ft) và lực điều khiển (lbs) máy bay tại thời điểm i :

$$h(i + 1) = h(i) + v(i); v(i + 1) = v(i) + f(i) \quad (1.7)$$

Yêu cầu: điều khiển máy bay hạ cánh từ độ cao 1000 ft xuống độ cao 100 ft , biết vận tốc ban đầu của máy bay là -20 ft/s

Áp dụng phương pháp lập luận mờ [4], [21]:

Các tác giả đã xây dựng các tập mờ cho các biến độ cao, vận tốc và lực điều khiển như bảng 1.2, tập luật mờ được xác định nhờ kinh nghiệm của các phi công được thể hiện trong bảng 1.3. Kết quả điều khiển qua 4 chu kỳ được xác định theo bảng 1.4.

Bảng 1.2. Các tập mờ của các biến ngôn ngữ

h (ft) (0, 1000)	v (ft/s) (-20, 20)	f (ft/s) (-20, 20)
Large(L)	UpLarge(UL)	UpLarge(UL)
Medium(M)	UpSmall(US)	UpSmall(US)
Small(S)	Zero(Z)	Zero(Z)
NearZero(NZ)	DownSmall(DS)	DownSmall(DS)

Bảng 1.3. Bảng FAM - Kinh nghiệm của các phi công

h	v				
	DL	DS	Z	US	UL
L	Z	DS	DL	DL	DL
M	US	Z	DS	DL	DL
S	UL	US	Z	DS	DL
NZ	UL	UL	Z	DS	DS

Bảng 1.4. Kết quả điều khiển sử dụng lập luận mờ qua 4 chu kỳ

h	v	f
1000,0	-20,00	5,8
980,0	-14,20	-0,5
965,8	-14,70	-0,4
951,1	-15,10	0,3

Để xác định sai số của bài toán, giả thiết:

- Tốc độ hạ cánh tối ưu tại độ cao h là:

$$v_0 = -(20/(1000)^2)/h^2 \quad (1.8)$$

- Sai số tốc độ hạ cánh qua n chu kì điều khiển là:

$$e(F) = (\sum_{i=1}^n (v_{0i}(F) - v_i(F))^2)^{1/2} \quad (1.9)$$

trong đó $e(F)$ là sai số, $v_{0i}(F)$, $v_i(F)$ là tốc độ hạ cánh tối ưu và tốc độ hạ cánh tại chu kỳ i ứng với $h(i)$.

Sử dụng các công thức (1.8), (1.9) xác định được sai số của bài toán qua 4 chu kỳ điều khiển:

$$e(AL, FR) = 7,17 \quad (1.10)$$

Áp dụng phương pháp lập luận sử dụng HA [4], [21]:

Bước 1: Xây dựng các HA chung cho cả ba biến ngôn ngữ, định lượng giá trị thực theo (1.5) với:

$$C = \{0, Small (SS), \theta, Large (La), 1\}; H^- = \{Little (L)\}; H^+ = \{Very (V)\}$$

Bước 2: Xác định các giá trị ngữ nghĩa định lượng

Chọn các tham số cho HA: $\alpha = \beta = 0.5$; $\theta = 0.5$.

Sử dụng hàm định lượng ngữ nghĩa:

$$fm(SS) = \theta = 0.5; fm(La) = 1 - fm(SS) = 0.5.$$

$$v(SS) = \theta - \alpha \times fm(SS) = 0.5 - 0.5 \times 0.5 = 0.25.$$

$$v(VSS) = v(SS) + Sign(VSS) \times (fm(VSS) - 0.5 fm(VSS)) = 0.125.$$

$$v(LSS) = v(SS) + Sign(LSS) \times (fm(LSS) - 0.5 fm(LSS)) = 0.375.$$

$$v(La) = \theta - \alpha \times fm(La) = 0.75.$$

$$v(VLa) = v(La) + Sign(VLa) \times (fm(VLa) - 0.5 fm(VLa)) = 0.875.$$

$$v(LLa) = v(La) + Sign(LLa) \times (fm(LLa) - 0.5 fm(LLa)) = 0.625.$$

$$v(VVSS) = v(VSS) + Sign(VVSS) \times (fm(VVSS) - 0.5 fm(VVSS)) = 0.0625.$$

Xây dựng các nhãn ngôn ngữ sử dụng gia tử ứng với các tập mờ

Đối với độ cao (0-1000):

NZ - *Very Very Small*, S - *Small*, M - *Medium*, L - *Little Large*

Đối với tốc độ (-30-30):

DL - *Very Small*, DS - *Little Small*, Z - *Medium*, US - *Large*, UL - *Very Large*

Đối với lực điều khiển (-30-30):

DL - *Very Small*, DS - *Little Small*, Z - *Medium*, US - *Large*, UL - *Very Large*

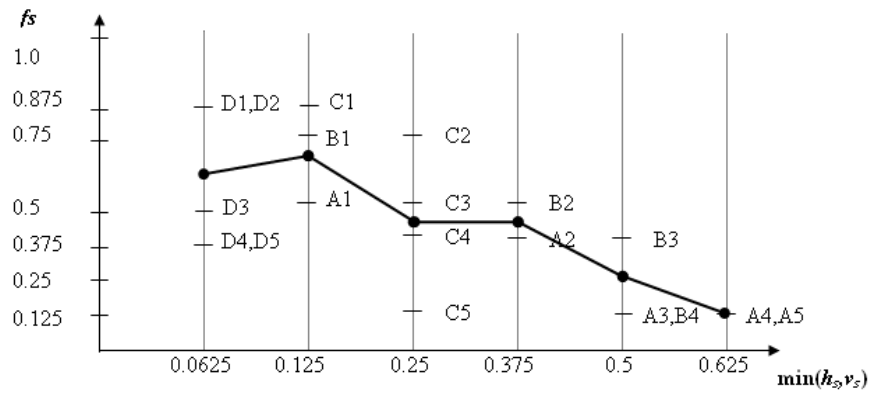
Chuyển bảng FAM sang bảng SAM dựa trên kết quả tính toán

Bảng 1.5. Mô hình ngữ nghĩa định lượng - SAM

$\begin{matrix} v_s \\ h_s \end{matrix}$	0.125	0.375	0.5	0.75	0.875
0.625	0.5(A1)	0.375(A2)	0.125(A3)	0.125(A4)	0.125(A5)
0.5	0.75(B1)	0.5(B2)	0.375(B3)	0.125(B4)	0.125(B5)
0.25	0.875(C1)	0.75(C2)	0.5(C3)	0.375(C4)	0.125(C5)
0.0625	0.875(D1)	0.85(D2)	0.5(D3)	0.375(D4)	0.375(D5)

Bước 3: Xây dựng phép nội suy tuyến tính dựa trên phép kết nhập đầu vào

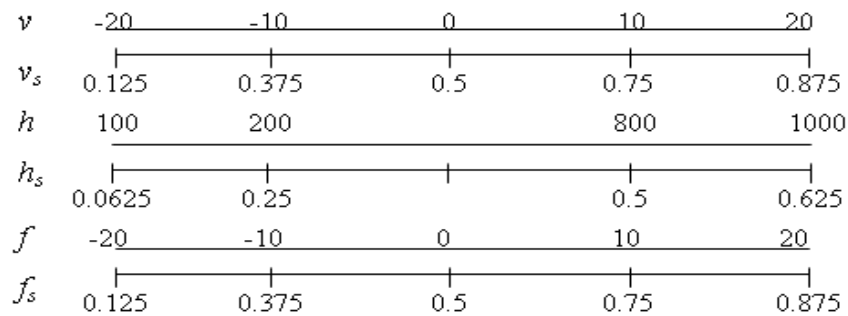
Ở bước này sử dụng phép kết nhập $AND = MIN$ theo nghĩa $h_s AND v_s = MIN(h_s, v_s)$, theo đó mỗi điểm (h_s, v_s, f_s) của bảng 1.5 được đưa về một điểm $(MIN(h_s, v_s), f_s)$, từ đó xác định được đường cong ngữ nghĩa định lượng như hình 1.4



Hình 1.4. Đường cong ngữ nghĩa định lượng

Bước 4: Tính toán đầu ra

Vấn đề giải định lượng được thực hiện theo công thức (1.6) với các khoảng xác định và khoảng ngữ nghĩa của các biến vận tốc, độ cao và lực điều khiển được cho bởi hình 1.5.



Hình 1.5 Khoảng xác định và khoảng ngữ nghĩa của các biến

Lực điều khiển ứng với các chu kỳ được tính toán dựa trên đường cong ngữ nghĩa định lượng, cụ thể:

$$h(0) = 1000 \Rightarrow h_s(0) = 0.625.$$

$$v(0) = -20 \Rightarrow v_s(0) = 0.125$$

Chu kỳ điều khiển 1: lấy $\min(h_s(0), v_s(0)) = 0.125$ làm giá trị đầu vào, nội suy tuyến tính trên đường cong (hình 1.4) thu được giá trị đầu ra $f_s(0) = 0.5$, giải định lượng có lực điều khiển tương ứng là $f(0) = 0$.

Chu kỳ điều khiển 2:

$$h(1) = h(0) + v(0) = 1000 + (-20) = 980 \Rightarrow h_s(1) = 0.6125.$$

$$v(1) = v(0) + f(0) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(1) = 0.125.$$

Giá trị đầu vào $\min(h_s(1), v_s(1)) = 0.125$, nội suy được $f_s(1) = 0.5$ từ đó suy ra lực điều khiển $f(1) = 0$.

Chu kỳ điều khiển 3:

$$h(2) = h(1) + v(1) = 980 + (-20) = 960 \Rightarrow h_s(2) = 0.6.$$

$$v(2) = v(1) + f(1) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(2) = 0.125.$$

Giá trị đầu vào $\min(h_s(2), v_s(2)) = 0.125$, giá trị nội suy đầu ra tương ứng là 0.5, tức là $f_s(2) = 0.5$ suy ra lực điều khiển $f(2) = 0$.

Chu kỳ điều khiển 4:

$$h(3) = h(2) + v(2) = 960 + (-20) = 940 \Rightarrow h_s(3) = 0.585.$$

$$v(3) = v(2) + f(2) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(3) = 0.125.$$

Giá trị đầu vào $\min(h_s(3), v_s(3)) = 0.125$, nội suy thu được $f_s(3) = 0.5$ suy ra lực điều khiển $f(3) = 0$.

Kết quả điều khiển mô hình máy bay hạ cánh qua bốn chu kỳ được tổng hợp trong bảng 1.6 dưới đây:

Bảng 1.6. Tổng hợp kết quả điều khiển mô hình máy bay hạ cánh

h	v	f
1000.0	-20.00	0
980.0	-20.00	0
960.0	-20.00	0
940.0	-20.00	0

Sử dụng công thức (1.8), (1.9) xác định sai số điều khiển qua 4 chu kỳ:

$$e(AL, HAR_{AND=MIN}) = 2.92 \quad (1.11)$$

Từ công thức (1.10), (1.11) cho thấy sai số của phương pháp lập luận sử dụng HA nhỏ hơn sai số của phương pháp lập luận mờ truyền thống trong bài toán này, cụ thể: $e(AL, HAR_{AND=MIN}) = 2.92 < e(AL, FR) = 7.17$.

Nhận xét: ví dụ trên được dùng để minh họa phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng HA, mặc dù các tham số của các phương pháp được chọn khá đơn giản, tuy nhiên sai số của phương pháp đã nhỏ hơn nhiều so với sai số của phương pháp lập luận mờ, điều này chứng tỏ ưu điểm của phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng HA.

1.3. Giải thuật di truyền

1.3.1. Giới thiệu

Năm 1975, Holland đưa ra giải thuật di truyền và đã được rất nhiều nhà khoa học áp dụng [30]. Giải thuật di truyền - GA (Genetic Algorithm) là phương thức tìm kiếm tối ưu dựa trên các cơ chế chọn lọc tự nhiên, di truyền và tiến hoá [9], [23], [30], [44]. Chúng chọn lọc các gen có cấu trúc chuỗi sao cho thích nghi được với quá trình chọn lọc tự nhiên (tốt nhất), trao đổi các thông tin về cấu trúc gen một cách ngẫu nhiên để tạo ra thế hệ sau thích nghi hơn thế hệ trước theo một điều kiện nào đó. GA sử dụng chọn lọc tự nhiên như một công cụ chỉ đường và khai thác những thông tin trong quá khứ để dự báo các điểm tìm kiếm mới với hy vọng cải thiện được cấu trúc chuỗi.

GA có khả năng tìm kiếm toàn cục trong không gian phức tạp mà các phương pháp tìm kiếm truyền thống không thể thực hiện được, ví dụ như cách tiếp cận theo đạo hàm (độ dốc gradient bằng 0 theo mọi hướng) đòi hỏi hàm mục tiêu phải liên tục, hoặc chiến lược “leo đồi” tìm kiếm theo hướng dốc nhất có thể. Cả hai cách này đều mang tính cục bộ địa phương, mặt khác nếu gặp phải các hàm mục tiêu có độ dốc lớn thì khó có thể “leo” lên đỉnh được. Hơn nữa, ngay cả khi đã tìm thấy cực trị địa phương, thủ tục tìm kiếm sẽ kết thúc và bỏ qua cực trị toàn cục. Như vậy, các phương pháp đạo hàm phải dựa

trên sự tồn tại của đạo hàm, không gian tìm kiếm phải liên tục, hàm không quá phức tạp và có độ dốc hạn chế.

Cách tiếp cận theo phương pháp liệt kê lại yêu cầu không gian tìm kiếm hữu hạn vì nó tìm kiếm các giá trị của hàm mục tiêu tại mọi điểm trong không gian tìm kiếm.

Các phương pháp tìm kiếm ngẫu nhiên sẽ giữ lại các điểm tốt nhất nhằm khắc phục những thiếu sót của hai cách tiếp cận trên nhưng vẫn không hiệu quả vì thời gian tìm kiếm có thể rất dài.

Tóm lại, GA khác các phương pháp tìm kiếm truyền thống ở bốn điểm cơ bản sau:

- GA làm việc với mã của tập thông số trong khi phương pháp tìm kiếm truyền thống làm việc với giá trị các thông số.
- GA tìm kiếm từ một quần thể các điểm trong khi phương pháp tìm kiếm truyền thống tìm kiếm từ một điểm.
- Để tìm cực trị, GA chỉ sử dụng thông tin tìm kiếm của hàm mục tiêu nên tránh được nhiễu, còn phương pháp tìm kiếm truyền thống cần sử dụng các thông tin khác.
- GA chỉ sử dụng luật biến đổi mang tính xác suất còn phương pháp tìm kiếm truyền thống sử dụng luật biến đổi mang tính tiền định.

1.3.2. Các bước cơ bản của giải thuật di truyền

Một giải thuật di truyền đơn giản bao gồm các bước sau:

- *Bước 1:* Khởi tạo một quần thể ban đầu gồm các chuỗi nhiễm sắc thể.
- *Bước 2:* Xác định giá trị mục tiêu cho từng nhiễm sắc thể tương ứng.
- *Bước 3:* Tạo các nhiễm sắc thể mới dựa trên các toán tử di truyền.

- *Bước 4:* Xác định hàm mục tiêu cho các nhiễm sắc thể mới và đưa vào quần thể.
- *Bước 5:* Loại bớt các nhiễm sắc thể có độ thích nghi thấp.
- *Bước 6:* Kiểm tra thỏa mãn điều kiện dừng. Nếu điều kiện đúng, lấy ra nhiễm sắc thể tốt nhất, giải thuật dừng lại, ngược lại quay về bước 3.

1.3.3. Các phép toán của GA

- **Phép tái sinh:** là quá trình các cá thể được sao chép dựa trên độ thích nghi của nó. Độ thích nghi là một hàm được gán các giá trị thực cho các cá thể trong quần thể của nó.

Phép tái sinh có thể mô phỏng như sau: tính độ thích nghi của từng cá thể trong quần thể, lập bảng cộng dồn các giá trị thích nghi đó (theo thứ tự gán cho từng cá thể). Giả sử quần thể có n cá thể, gọi độ thích nghi của cá thể thứ i là F_i , tổng dồn thứ i là F_t , tổng độ thích nghi là F_m . Tạo số ngẫu nhiên F có giá trị trong đoạn $[0, F_m]$. Chọn cá thể k đầu tiên thỏa mãn $F \geq F_t$ đưa vào quần thể của thế hệ mới.

- **Phép chọn lọc:** là quá trình loại bỏ các cá thể xấu và để lại những cá thể tốt.

Phép chọn lọc được mô tả như sau: sắp xếp quần thể theo thứ tự độ thích nghi giảm dần. Loại bỏ các cá thể cuối dãy, chỉ để lại n cá thể tốt nhất.

- **Phép lai ghép:** được thực hiện bằng cách ghép một hay nhiều đoạn gen từ hai nhiễm sắc thể cha mẹ để hình thành nhiễm sắc thể mới mang đặc tính của cả cha lẫn mẹ.

Phép lai ghép có thể mô tả như sau: chọn ngẫu nhiên hai hay nhiều cá thể trong quần thể. Giả sử chuỗi nhiễm sắc thể của cha và mẹ đều có chiều dài là m . Tìm điểm lai ghép bằng cách tạo ngẫu nhiên một số từ 1 đến $(m-1)$. Như vậy, điểm lai ghép này sẽ chia hai chuỗi nhiễm sắc thể cha mẹ thành hai nhóm nhiễm sắc thể con là m_1 và m_2 . Hai chuỗi nhiễm sắc thể con lúc này sẽ

là $m_{11}+m_{22}$ và $m_{21}+m_{12}$. Đưa hai chuỗi nhiễm sắc thể con vào quần thể để tiếp tục tham gia quá trình tiến hóa.

- **Phép đột biến:** hiện tượng đột biến là khi một hoặc một số tính trạng của con không được thừa hưởng từ hai nhiễm sắc thể cha mẹ. Phép đột biến xảy ra với xác suất thấp hơn nhiều lần so với xác suất xảy ra phép lai.

Phép đột biến có thể mô tả như sau: chọn ngẫu nhiên một số k từ khoảng $m \geq k \geq 1$. Thay đổi giá trị của gen thứ k , đưa nhiễm sắc thể con vào quần thể để tham gia quá trình tiến hóa tiếp theo.

Tóm lại, để áp dụng GA cho các bài toán tìm kiếm, người ta thường tiến hành mã hoá các thông số của bài toán tìm kiếm thành các chuỗi trên tập ký tự. Mỗi chuỗi đại diện cho một điểm tìm kiếm trong không gian tìm kiếm. Một quần thể các chuỗi được khởi tạo ngẫu nhiên, sau đó tiến hoá từ thế hệ này sang thế hệ khác. Thế hệ sau được tuyển chọn thông qua GA. Việc tìm kiếm trên nhiều điểm song song của GA có khả năng leo lên nhiều cực trị cùng lúc, thông qua các toán tử chính là tái sinh, chọn lọc, lai ghép và đột biến. GA trao đổi thông tin giữa các cực trị và tìm được cực trị toàn cục chứ không kết thúc việc tìm kiếm tại một số cực trị địa phương. Tuy nhiên, một nhược điểm của GA là thời gian cần thiết cho tính toán lớn. Chính vì vậy, cần phải cải tiến các phép toán của GA nhằm rút ngắn thời gian thực hiện đối với các bài toán tìm kiếm phức tạp.

1.3.4. Cơ sở toán học của GA

Mặc dù GA là một giải thuật tìm kiếm ngẫu nhiên dựa trên học thuyết tiến hóa nhưng không như một số người hình dung một cách cảm tính rằng đây chỉ là một giải thuật “mò”. Cơ sở toán học của GA được công bố trong [23], [30] bằng định lý giản đồ. Để hiểu rõ điều này, trước tiên làm quen với một số khái niệm và kí hiệu được sử dụng.

Các khái niệm và ký hiệu

Giản đồ (G) là tập mẫu (bit) mô tả một tập con gồm các chuỗi (cùng giống nhau tại một số vị trí trong chuỗi).

Bậc của giản đồ, ký hiệu là $S(G)$, là số các vị trí cố định trong giản đồ.

Độ dài của giản đồ, ký hiệu là $L(G)$, là khoảng cách giữa vị trí cố định đầu tiên và vị trí cố định cuối cùng trong chuỗi.

Ký tự (*) được đưa thêm vào cặp ký tự $\{0, 1\}$ để đại diện cho bất kỳ ký tự nào trong cặp ký tự này. Như thế, tập ký tự sẽ trở thành $\{0, 1, *\}$ và chúng sẽ có 3^d giản đồ trong chuỗi có độ dài d và có $n \cdot 2^d$ trong quần thể n chuỗi nhị phân độ dài d .

Ví dụ: Với giản đồ $G = (0110***1**01****)$ có độ dài chuỗi $d=16$, bậc của giản đồ $S(G)=7$, và độ dài của giản đồ $L(G)=11$.

Định lý giản đồ

Giả sử tại thời điểm t có m mẫu của giản đồ G , $m=m(G,t)$ trong thể hệ $A(t)$. Trong quá trình tái tạo, chuỗi A_i sẽ được chọn theo thích nghi của nó. Sau khi thay thế quần thể $A(t)$ bởi quần thể tiếp theo $A(t+1)$, số mẫu của giản đồ G có trong quần thể mới là:

$$m(G, t+1) = m(G, t) \frac{\frac{f(G)}{\sum_{j=1}^n f_j}}{\frac{\sum_{j=1}^n f_j}{n}} = m(G, t) \frac{f(G)}{\bar{f}} \quad \text{với} \quad \bar{f} = \frac{\sum_{j=1}^n f_j}{n} \quad (1.12)$$

Trong đó \bar{f} là giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể, $f(G)$ là giá trị thích nghi trung bình của các chuỗi chứa trong giản đồ G tại thời điểm t . Từ công thức (1.12) có thể thấy số mẫu của các giản đồ phát triển theo tỷ số thích nghi trung bình của giản đồ và giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể. Tức là toán tử tái sinh xử lý song song các giản đồ có trong quần thể bằng

việc sao chép các chuỗi theo giá trị thích nghi của chúng. Đối với những giản đồ có giá trị thích nghi trung bình lớn hơn giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể sẽ có số mẫu tăng trong thế hệ tiếp theo.

Giả sử giá trị thích nghi trung bình của giản đồ G lớn hơn giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể là c lần, nghĩa là $f(G) = \bar{f} + c\bar{f}$:

$$m(G, t+1) = m(G, t) \frac{\bar{f} + c\bar{f}}{\bar{f}} = (1+c).m(G, t) \quad (1.13)$$

Tại thời điểm $t=0$ và c không đổi trong các thế hệ đang xét, thì:

$$\begin{aligned} m(G, 1) &= m(G, 0).(1+c) \\ m(G, 2) &= m(G, 1).(1+c) = m(G, 0).(1+c)^2 \\ &\dots \\ m(G, t) &= m(G, 0).(1+c)^t \end{aligned} \quad (1.14)$$

Như vậy, toán tử tái sinh làm tăng số mẫu của giản đồ có giá trị thích nghi lớn hơn giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể theo hàm số mũ, ngược lại làm giảm số mẫu của giản đồ có giá trị thích nghi nhỏ hơn giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể cũng theo hàm số mũ một cách song song đối với tất cả các giản đồ có trong quần thể.

Ví dụ: với chuỗi $A=1001011000$, hai giản đồ G_1 và G_2 cùng tồn tại trong chuỗi đó là $G_1=1***''****00$ và $G_2=****''011***$. Giả sử vị trí lai ghép chọn ngẫu nhiên $k=4$ (trong giản đồ G_1 và G_2 được ký hiệu là $''$). Như vậy, cấu trúc của G_1 bị phá vỡ và được sao chép sang hai con khác nhau trong khi G_2 vẫn không bị phá hủy mà nó tồn tại ở một trong hai con.

Sự tồn tại của giản đồ qua toán tử lai ghép tuân theo xác suất tồn tại P_s :

$$P_s \geq 1 - P_c \frac{L(G)}{d-1} \quad (1.15)$$

Trong đó, P_c là xác suất lai ghép (ghép đôi), $L(G)$ là độ dài của giản đồ (khoảng cách kể từ vị trí cố định đầu tiên đến vị trí cố định cuối cùng trong giản đồ), d là độ dài của chuỗi gen.

Giả sử toán tử tái sinh và lai ghép hoạt động độc lập nhau, ta có số mẫu của một giản đồ G nào đó cho thế hệ tiếp theo là:

$$m(G, t+1) \geq m(G, t) \frac{f(G)}{f} \left[1 - P_c \frac{L(G)}{d-1} \right] \quad (1.16)$$

Để một giản đồ tồn tại thì tất cả các vị trí cố định trong giản đồ (bậc của giản đồ) phải tồn tại. Ta có xác suất tồn tại của giản đồ G qua toán tử đột biến là $(1 - P_m)^{S(G)}$, trong đó $S(G)$ là bậc của giản đồ. Khi xác suất đột biến P_m rất nhỏ ($P_m \ll 1$) thì:

$$(1 - P_m)^{S(G)} \approx 1 - S(G) \cdot P_m \quad (1.17)$$

Nếu tính cả sự tác động của toán tử tái sinh và lai ghép vừa xét ở trên thì:

$$m(G, t+1) \geq m(G, t) \frac{f(G)}{f} \left[1 - P_c \frac{L(G)}{d-1} - S(G) \cdot P_m \right] \quad (1.18)$$

Qua công thức ta thấy, những giản đồ bậc thấp, độ dài ngắn và có giá trị thích nghi trung bình lớn hơn giá trị thích nghi trung bình của toàn quần thể sẽ có số mẫu tăng theo hàm số mũ trong thế hệ tiếp theo. Đây chính là nội dung của định lý giản đồ hay định lý về nền tảng của giải thuật di truyền.

1.4. Kết luận chương 1

- Đã đưa ra cái nhìn tổng quan về hệ logic mờ và các phương pháp điều khiển. Các bộ điều khiển mờ đã đạt được những kết quả đáng kể với cả điều khiển tuyến tính và phi tuyến cho những đối tượng không biết rõ mô hình toán học hoặc khó mô hình hóa.

- Đã trình bày các khái niệm cơ bản về lý thuyết đại số gia tử và nền tảng phương pháp lập luận xấp xỉ sử dụng đại số gia tử. Đại số gia tử tiếp nối những thành công của điều khiển mờ đã có một số thành tựu đáng kể trong và ngoài nước.

- Đã trình bày các kiến thức cơ sở của giải thuật di truyền để tìm kiếm các tham số tối ưu nhằm trợ giúp phương pháp thiết kế tự động xác định các tham số của bộ điều khiển sử dụng HA.

CHƯƠNG 2

ỨNG DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ TRONG ĐIỀU KHIỂN

Tóm tắt chương 2

- Giới thiệu phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA và tiến hành áp dụng cho nhiều lớp đối tượng khác nhau.

- Khẳng định tính khả thi của bộ điều khiển sử dụng HA trong công nghiệp bằng việc thiết kế cụ thể cho một số đối tượng khó điều khiển, kết quả được kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên Matlab cho 3 đối tượng:

(1) Điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số biến đổi.

(2) Điều khiển đối tượng phi tuyến đã được tuyến tính hóa.

(3) Điều khiển đối tượng có trễ lớn (hằng số trễ lớn tới 40% so với hằng số thời gian của hệ thống).

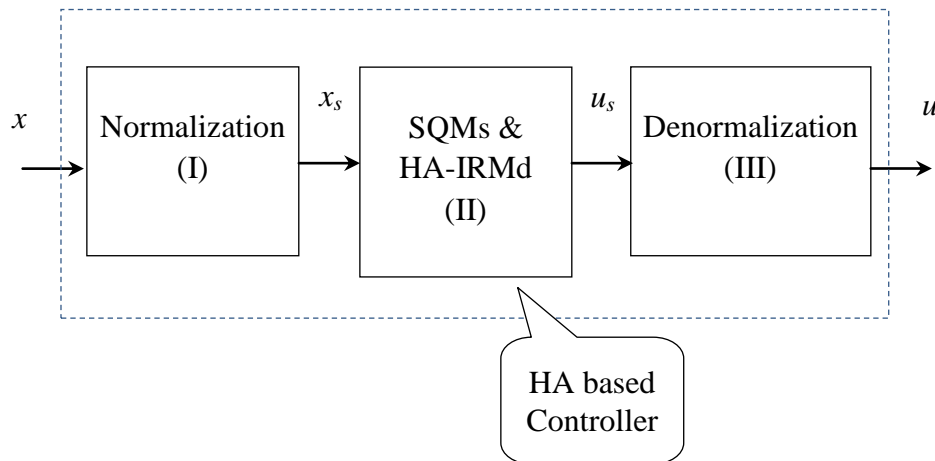
2.1. Phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử

Đối với các bài toán điều khiển, tiếp cận mờ sử dụng những thông tin quan trọng để điều khiển là hệ luật. So với điều khiển thông thường có mô hình toán học của đối tượng thì đối với hệ điều khiển mờ, thông tin về đối tượng điều khiển là chưa đầy đủ và hạn chế [10], [43]. Điều khiển mờ đã thành công trong lĩnh vực điều khiển, thường áp dụng cho các lớp đối tượng khó mô hình hóa, không biết trước mô hình toán học và có thông tin không rõ ràng, không đầy đủ [22], [40].

HA là công cụ tính toán mềm - một cách tiếp cận mới trong tính toán cho bộ điều khiển mờ nên các nhà nghiên cứu có hướng tới việc ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển và tự động hóa. HA đã được nghiên cứu trong một số bài toán chẩn đoán, dự báo, ... [36] và đã có những thành công đáng kể áp

dụng cho một số bài toán xấp xỉ và điều khiển có mô hình toán học đơn giản như [4], [15], [21].

Bộ điều khiển sử dụng HA gọi tắt là HAC (Hedge Algebra based Controller) [13], [31] thể hiện sơ đồ tổng quát như hình 2.1.



Hình 2.1. Sơ đồ bộ điều khiển sử dụng HA

Trong đó: x giá trị đặt đầu vào; x_s giá trị ngữ nghĩa đầu vào; u giá trị điều khiển và u_s giá trị ngữ nghĩa điều khiển.

HAC gồm các khối sau:

- Khối I - Normalization (Ngữ nghĩa hoá): nhiệm vụ biến đổi tuyến tính x sang x_s .
- Khối II - SQMs & HA-IRMd: thực hiện phép nội suy ngữ nghĩa từ x_s sang u_s trên cơ sở hàm ánh xạ ngữ nghĩa định lượng và hệ luật ngữ nghĩa.
- Khối III - Denormalization (Giải ngữ nghĩa): nhiệm vụ biến đổi tuyến tính u_s sang u .

Các bước thực hiện thiết kế HAC:

- *Bước 1:* Chọn bộ tham số của đại số gia tử, tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng cho các giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ (ví dụ điện áp). Ngữ

ngã hóa các biến đầu vào x (sai lệch e và đạo hàm sai lệch \dot{e}) theo (1.5), tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng cho hệ luật điều khiển.

- *Bước 2:* Xây dựng ánh xạ ngữ nghĩa định lượng (mặt cong ngữ nghĩa định lượng của hệ luật ngữ nghĩa). Trên cơ sở điều kiện ban đầu đã được ngữ nghĩa hoá định lượng, nội suy giá trị điều khiển ngữ nghĩa định lượng u_s theo ánh xạ ngữ nghĩa định lượng.

- *Bước 3:* Giải ngữ nghĩa giá trị u_s nhận giá trị điều khiển thực u theo (1.6).

Áp dụng phương pháp thiết kế HAC được giới thiệu ở trên, tác giả đã tiến hành thiết kế với rất nhiều đối tượng khác nhau và đạt được những kết quả rất tốt khi lập trình mô phỏng trên máy tính (công trình 2, 7, 8). Với hy vọng sử dụng HA như một hướng nghiên cứu để thiết kế bộ điều khiển (BDK) trong các hệ thống tự động, cần khẳng định rõ hơn vai trò của HA trong việc áp dụng thiết kế đối với nhiều lớp đối tượng công nghiệp. Vì vậy, tác giả tiếp tục kiểm chứng bộ điều khiển sử dụng HA cho một số lớp đối tượng khó điều khiển hơn trong công nghiệp, cụ thể như đối tượng tuyến tính có tham số thay đổi hay đối tượng có trễ lớn mà hằng số trễ lớn tới 40% so với hằng số thời gian của hệ thống. Kết quả đạt được với các đối tượng cụ thể trên sẽ cho ta thấy hệ thống tự động sử dụng bộ điều khiển sử dụng HA có thể đáp ứng được các yêu cầu về chất lượng và mở ra khả năng ứng dụng trong thực tế.

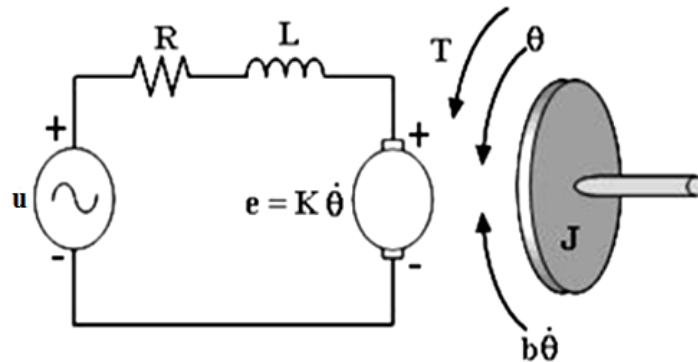
2.2. Nghiên cứu kiểm chứng bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử cho một số đối tượng công nghiệp

- Điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số biến đổi.
- Điều khiển đối tượng phi tuyến đã được tuyến tính hóa.
- Điều khiển đối tượng có trễ lớn.

2.2.1. Điều khiển đối tượng tuyến tính có tham số biến đổi

2.2.1.1. Mô hình toán học

Với các hệ thống điều khiển sử dụng đối tượng truyền động là động cơ một chiều, chất lượng hệ thống đạt được cùng bộ điều khiển được tính toán cho một chế độ làm việc cụ thể. Tuy nhiên, các thông số của đối tượng có thể thay đổi trong quá trình làm việc (chẳng hạn như sự biến thiên của mômen quán tính J hay điện trở mạch phản ứng R). Như vậy để đảm bảo chất lượng điều chỉnh không đổi khi J hoặc R biến thiên thì bộ điều khiển phải có khả năng tự động chỉnh định lại các tham số. Với mục tiêu thiết kế bộ điều khiển HAC đáp ứng mục tiêu này, tiến hành xây dựng mô hình toán học cho đối tượng dùng trong các hệ truyền động là động cơ một chiều điều chỉnh góc quay như hình 2.2.



Hình 2.2. Sơ đồ thay thế động cơ một chiều điều chỉnh góc quay

Động cơ một chiều điều chỉnh góc quay θ với mô men ma sát (b) , hệ số cấu tạo (K) , điện cảm phản ứng (L) , điện trở mạch phản ứng (R) và mô men quán tính J . Mô hình hóa động cơ điện một chiều [38] được (2.1a) và (2.1b):

$$J \left(\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \right) + b \left(\frac{d\theta(t)}{dt} \right) = Ki(t) \quad (2.1a)$$

$$L \left(\frac{di(t)}{dt} \right) + R i(t) = u(t) - K \left(\frac{d\theta(t)}{dt} \right) \quad (2.1b)$$

Biến đổi từ (2.1a) và (2.1b) được phương trình (2.1c) mô tả hình 2.2

$$\frac{LJ}{K} \ddot{\theta}(t) + \frac{Lb + RJ}{K} \ddot{\theta}(t) + \frac{bR + K^2}{K} \dot{\theta}(t) = u(t) \quad (2.1c)$$

2.2.1.2. Ứng dụng thiết kế bộ HAC

Hệ thống điều khiển ở đây là một hệ tùy động, các điện áp đầu ra tương ứng với các sai lệch so với điện áp đặt được liên kết với một bộ khuếch đại vi sai. Chúng xác định các đáp ứng phản hồi được sử dụng làm các biến đầu vào cho bộ điều khiển để tạo ra các đại lượng điều khiển theo mong muốn. Hệ thống điều khiển sử dụng động cơ một chiều điều chỉnh góc quay như hình 2.2 có các tham số [38]:

$$b = 0,1 \text{ Nms}$$

$$K = 0,01 \text{ Nm/Amp}$$

$$L = 0,5 \text{ H}$$

$$J = 0,01 \text{ kgm}^2$$

$$R = 1 \Omega$$

Từ phương trình vi phân tổng quát có dạng (2.1c), đặt:

$$\theta(t) = x_1 = y$$

$$\dot{\theta}(t) = x_2 = \dot{x}_1$$

$$\ddot{\theta}(t) = x_3 = \dot{x}_2$$

$$\ddot{\theta}(t) = \dot{x}_3 = \frac{K}{LJ} \left[u - \frac{bR + K^2}{K} x_2 - \frac{Lb + RJ}{K} x_3 \right]$$

Ta có mô hình trạng thái của đối tượng:

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{bR + K^2}{LJ} & -\frac{Lb + RJ}{LJ} \end{pmatrix} \underline{x} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K}{LJ} \end{pmatrix} u \\ y = (1 \ 0 \ 0) \underline{x} \end{cases}$$

Trong đó:

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{bR + K^2}{LJ} & -\frac{Lb + RJ}{LJ} \end{pmatrix}; \quad \underline{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K}{LJ} \end{pmatrix}; \quad \underline{C}^T = (1 \ 0 \ 0)$$

Một bộ điều khiển chất lượng cao cần phải luôn đảm bảo chất lượng điều khiển tốt khi tham số của đối tượng thường xuyên biến đổi [8]. Đối với hệ thống này thì sự thay đổi mômen quán tính J và điện trở mạch phản ứng R sẽ tác động đến chất lượng bộ điều khiển. Để đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng, ta thiết kế hệ thống với bộ điều khiển sử dụng HA ứng với các trường hợp biến đổi của mômen quán tính J và điện trở R. Bộ điều khiển gồm có hai đầu vào và một đầu ra.

- Đầu vào thứ 1 là sai lệch $e(t)$ đặt vào bộ điều khiển, ký hiệu là Ch
- Đầu vào thứ 2 là đạo hàm của đầu vào thứ nhất, ký hiệu là dCh.
- Đầu ra của bộ điều khiển ký hiệu là U.

Bước 1: Chọn bộ tham số tính toán

$$G = \{0, \text{Âm (N)}, W, \text{Dương (P)}, 1\};$$

Các gia tử: Ít (L) và Nhiều (V);

$$H^- = \{\text{Ít (L)}\} = \{h_{-1}\}; q = 1; H^+ = \{\text{Nhiều (V)}\} = \{h_1\}; p = 1;$$

$$fm(N) = \theta = 0.5; fm(P) = 1 - fm(N) = 0.5;$$

$$\alpha = 0.4; \beta = 0.6; \mu(h_1) = 0.6; \mu(h_{-1}) = 0.4$$

Chọn tập giá trị ngôn ngữ cho Ch, dCh và U là Âm Nhiều (VN), Âm (N), Âm Ít (LN), W, Dương Ít (LP), Dương (P) và Dương Nhiều (VP) với bảng luật điều khiển theo bảng 2.1.

Bảng 2.1. Bảng luật điều khiển với nhân ngôn ngữ của HA

U		Ch						
		VN	N	LN	W	LP	P	VP
dCh	VN	VN	VN	VN	VN	LN	LP	VP
	N	VN	VN	N	N	W	LP	VP
	LN	VN	VN	LN	LN	W	P	VP
	W	VN	VN	LN	W	LP	VP	VP
	LN	VN	N	W	LP	LP	VP	VP
	P	VN	LN	W	P	P	VP	VP
	VP	VN	LN	LP	VP	VP	VP	VP

Tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng chung cho các biến.

$$v(N) = \theta - \alpha fm(N) = 0.5 - (0.4)(0.5) = 0.3.$$

$$v(VN) = v(N) + \text{sign}(VN) \left\{ \sum_{i=1}^1 fm(VN) - 0.5[1 + \text{sign}(VN)\text{sign}(VVN)(\beta - \alpha)]fm(VN) \right\}$$

$$= v(N) + \text{sign}(VN) \left\{ \sum_{i=1}^1 \beta fm(N) - 0.5[1 + \text{sign}(VN)\text{sign}(V, V)\text{sign}(VN)(\beta - \alpha)]\beta fm(N) \right\}$$

$$= 0.3 + (-1)\{(0.6)(0.5) - 0.5[1 + (-1)1(-1)(0.6 - 0.4)](0.6)(0.5)\} = 0.18.$$

$$v(LN) = v(N) + \text{sign}(LN) \left\{ \sum_{i=-1}^{-1} fm(LN) - 0.5[1 + \text{sign}(LN)\text{sign}(VLN)(\beta - \alpha)]fm(LN) \right\}$$

$$= v(N) + \text{sign}(LN) \left\{ \sum_{i=-1}^{-1} \alpha fm(N) - 0.5[1 + \text{sign}(LN)\text{sign}(V, L)\text{sign}(LN)(\beta - \alpha)]\alpha fm(N) \right\}$$

$$= 0.3 + \{(0.4)(0.5) - 0.5[1 + 1(-1)1(0.6 - 0.4)](0.4)(0.5)\} = 0.42.$$

$$v(P) = \theta + \alpha fm(P) = 0.5 + (0.4)(0.5) = 0.7.$$

$$v(LP) = v(P) + \text{sign}(LP) \left\{ \sum_{i=1}^1 fm(LP) - 0.5[1 + \text{sign}(LP)\text{sign}(VLP)(\beta - \alpha)fm(LP)] \right\}$$

$$= v(P) + \text{sign}(LP) \left\{ \sum_{i=1}^1 \alpha fm(P) - 0.5[1 + \text{sign}(LP)\text{sign}(V,L)\text{sign}(LP)(\beta - \alpha)\alpha fm(P)] \right\}$$

$$= 0.7 - \{(0.4)(0.5) - 0.5[1 + (-1)(-1)(-1)(0.6 - 0.4)](0.4)(0.5)\} = 0.58.$$

$$v(VP) = v(P) + \text{sign}(VP) \left\{ \sum_{i=-1}^{-1} fm(VP) - 0.5[1 + \text{sign}(VP)\text{sign}(VVP)(\beta - \alpha)fm(VP)] \right\}$$

$$= v(P) + \text{sign}(VP) \left\{ \sum_{i=-1}^{-1} \beta fm(P) - 0.5[1 + \text{sign}(VP)\text{sign}(V,V)\text{sign}(VP)(\beta - \alpha)\beta fm(P)] \right\}$$

$$= 0.7 + 1 \{(0.6)(0.5) - 0.5(1 + 0.2)(0.6)(0.5)\} = 0.82.$$

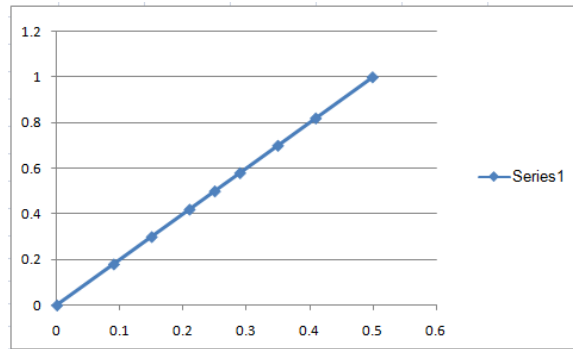
Định lượng đầu vào thực với Ch thành Chs và dCh thành dChs theo công thức (1.5).

Bước 2: chuyển bảng 2.1 sang bảng 2.2

Bảng 2.2. SAM (Semantization Associative Memory)

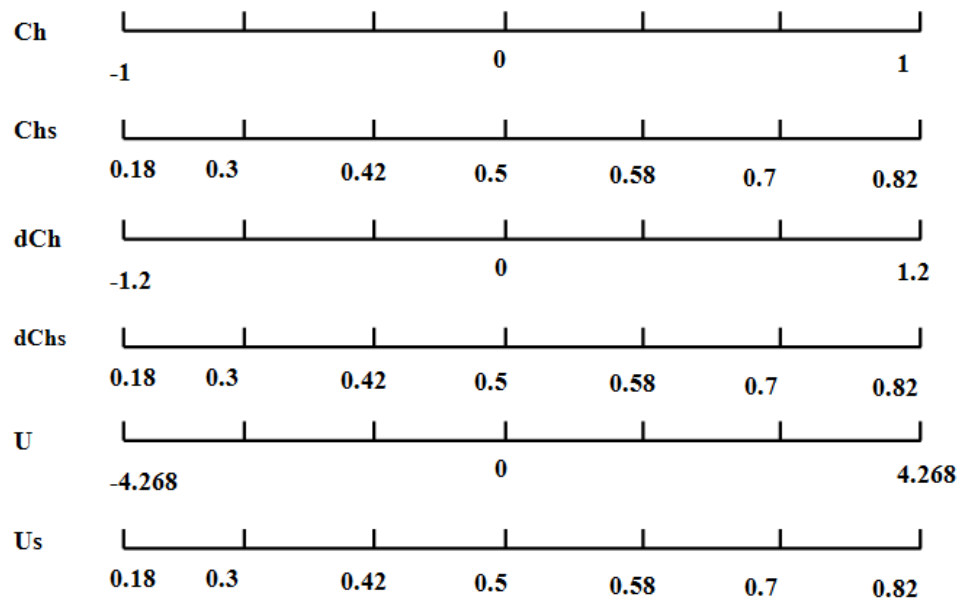
U		Ch						
		0.18	0.3	0.42	0.5	0.58	0.7	0.82
dCh	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.42	0.58	0.82
	0.3	0.18	0.18	0.3	0.3	0.5	0.58	0.82
	0.42	0.18	0.18	0.42	0.18	0.5	0.7	0.82
	0.5	0.18	0.18	0.42	0.5	0.58	0.82	0.82
	0.58	0.18	0.3	0.5	0.58	0.58	0.82	0.82
	0.7	0.18	0.42	0.5	0.7	0.7	0.82	0.82
	0.82	0.18	0.42	0.58	0.82	0.82	0.82	0.82

Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng: từ các giá trị trong bảng 2.2, sử dụng phép kết nhập các biến đầu vào là phép *Product* các luật điều khiển, xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng như hình 2.3.



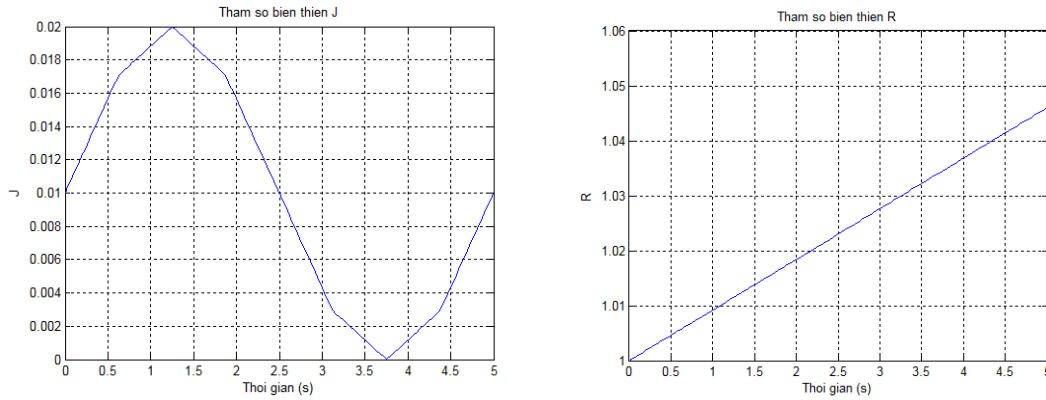
Hình 2.3. Đường cong ngữ nghĩa định lượng

Bước 3: Giải ngữ nghĩa giá trị ngữ nghĩa định lượng điều khiển u_s để nhận được giá trị điều khiển u . Vấn đề định lượng giá trị thực và giải định lượng được thực hiện theo công thức (1.6) với các khoảng xác định và khoảng ngữ nghĩa của các biến Chs , $dChs$ và Us được cho bởi hình 2.4

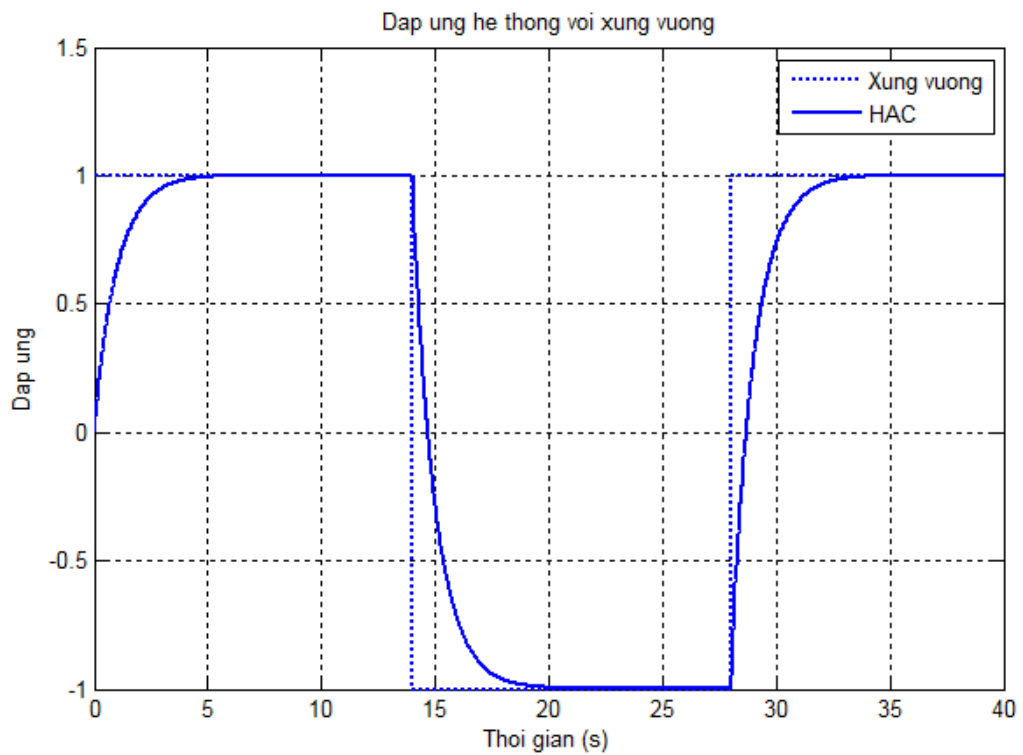


Hình 2.4. Giải ngữ nghĩa các biến Chs , $dChs$ và Us

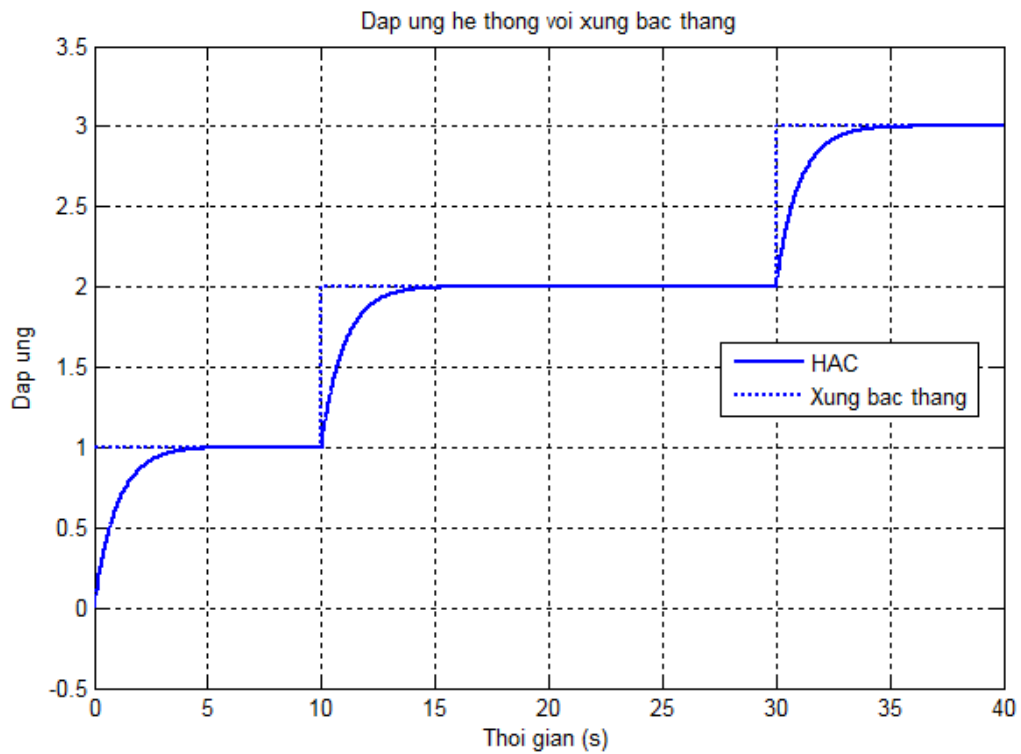
- Mô phỏng hệ thống với J và R biến thiên như hình 2.7, tín hiệu ra hệ thống thể hiện trên hình 2.8 với kích thích là xung vuông và hình 2.9 với kích thích là xung bậc thang.



Hình 2.7. Các tham số biến thiên J và R



Hình 2.8. Đáp ứng của hệ thống với xung vuông



Hình 2.9. Đáp ứng của hệ thống với xung bậc thang

Đối với trường hợp tham số của đối tượng biến thiên, đáp ứng của hệ thống với HAC vẫn khá tốt, đáp ứng được yêu cầu chất lượng của quá trình quá độ với thời gian quá độ khoảng 6s, sai lệch rất nhỏ và không có quá điều chỉnh.

Nhận xét:

- Đã xây dựng HAC cho một đối tượng cụ thể có tham số biến đổi. Kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng hệ thống bám theo giá trị đặt rất tốt, chất lượng quá trình quá độ đảm bảo yêu cầu hệ thống (sai lệch tĩnh, độ quá điều chỉnh, thời gian quá độ, ...).

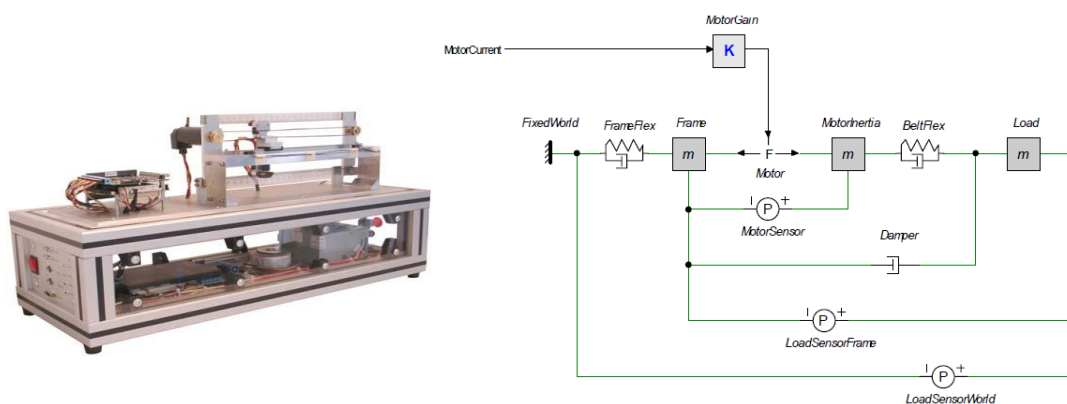
- Kết quả mô phỏng chứng tỏ rằng HAC có thể áp dụng được trong lĩnh vực điều khiển, đáp ứng được các yêu cầu về chất lượng cho đối tượng có tham số biến đổi.

2.2.2. Điều khiển đối tượng phi tuyến đã được tuyến tính hóa

2.2.2.1. Mô hình hệ thống phi tuyến

Phần lớn các đối tượng trong tự nhiên mang tính phi tuyến, ví dụ như các hệ thống thủy khí, hệ thống nhiệt động học, hệ thống cơ khí ... Điều khiển chuyển động liên quan tới việc điều khiển chuyển động của hệ thống cơ học và được sử dụng rộng rãi trong đóng gói, in ấn, dệt may hay các ứng dụng công nghiệp khác. Hầu hết các hệ thống này đều phi tuyến, gần giống như các mô hình toán học tuyến tính có nhiều và bất định về mô hình. Không giống như với hệ thống tuyến tính, không tồn tại một phương pháp chung nào có thể áp dụng hiệu quả cho mọi hệ phi tuyến. Tùy vào từng hệ thống cụ thể có thể thay thế mô hình phi tuyến của hệ thống bởi một mô hình tuyến tính để có thể áp dụng các phương pháp thiết kế bộ điều khiển. Mục đích của thiết kế bộ điều khiển ở đây là nhằm đạt được cấu hình, tiêu chuẩn kỹ thuật và nhận diện được các tham số chính của hệ thống đáp ứng nhu cầu thực tế. Bộ điều khiển được kỳ vọng:

- Hệ thống đã thiết kế giảm được sai lệch theo đầu vào đặt.
- Hệ thống tác động nhanh khi tham số của hệ thống biến thiên.
- Giảm ảnh hưởng của nhiễu tác động và nhiễu khi tính toán.



Hình 2.10. MEDE 5 và mô hình hóa kết cấu cơ khí

Hình 2.10 là mô hình một hệ thống thí nghiệm có tên là MEDE5 (Mechatronic Demonstrate Setup-2005) do nhóm kỹ thuật điều khiển thuộc Trường Đại học Twente, Hà Lan đã thiết kế [26], [42]. Phát triển mô hình có thể ứng dụng trong thực tiễn như máy in, máy vẽ 2 chiều, 3 chiều, máy CNC hay các hệ thống điều khiển vị trí khác. Kết cấu cơ khí của MEDE5 được thiết kế dựa trên nguyên lý của công nghệ in, ụ trượt có thể chuyển động tiến và lùi một cách linh hoạt nhờ sự dẫn động của động cơ điện một chiều thông qua dây curoa. Trong mô hình, người thiết kế đã bố trí toàn bộ động cơ điện, thanh trượt, ụ trượt, dây curoa, ... trên một cái khung dẻo với mục đích để tạo ra sự rung lắc khi ụ trượt di chuyển. Nếu thiết kế được những thuật toán điều khiển tốt sẽ giúp cho quá trình gia tốc, giảm tốc của ụ trượt êm hơn, điều này dẫn đến mức độ rung lắc của khung được giảm.

Trong tính toán, khi bỏ qua những thành phần phi tuyến của lực ma sát, ta nhận được mô hình toán học của đối tượng là khâu bậc 6 tuyến tính. Nếu coi dây curoa nối giữa động cơ và ụ trượt là cứng và bỏ qua khối lượng rôto của động cơ thì đối tượng sẽ có dạng một khâu bậc 4 tuyến tính. Nếu ta coi khung là vững chắc thì đối tượng sẽ có dạng một khâu bậc 2 tuyến tính được biểu diễn bằng hệ phương trình trạng thái có dạng như hệ (2.2) [42]:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{x}_{loadworld} \\ \dot{v}_{loadworld} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{d}{m_l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{loadworld} \\ v_{loadworld} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_l} \end{bmatrix} F \\ y = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_{loadworld} \\ v_{loadworld} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2.2)$$

Trong đó $v_{loadworld}$, $x_{loadworld}$: vận tốc và vị trí của ụ trượt so với hệ tọa độ gốc.

2.2.2.2. Ứng dụng thiết kế bộ HAC

Bài toán điều khiển đặt ra ở đây là điều khiển chuyển động đến một vị trí chính xác theo giá trị đặt với yêu cầu đảo chiều liên tục, đòi hỏi bộ điều khiển tác động nhanh, loại bỏ được nhiễu ma sát sao cho quá trình gia tốc, giảm tốc của ụ trượt êm hơn.

Các thông số của đối tượng cụ thể như sau:

Element	Parameter	Value
<i>MotorGain</i>	<i>Motor constant</i>	<i>5.7 N/A</i>
<i>Frame</i>	<i>Mass of the frame</i>	<i>0.8 kg</i>
<i>FrameFlex</i>	<i>Spring constant</i>	<i>6 kN/m</i>
	<i>Damping in frame</i>	<i>6 Ns/m</i>
<i>MotorInertia</i>	<i>Inertia of the motor</i>	<i>$1e^{-5}$ kg</i>
<i>Load</i>	<i>Mass of the end effector (slider)</i>	<i>0.3 kg</i>
<i>BeltFlex</i>	<i>Spring constant</i>	<i>80 kN/m</i>
	<i>Damping in belt</i>	<i>1 Ns/m</i>
<i>Damper</i>	<i>Viscous friction</i>	<i>3 Ns/m</i>
	<i>Coulomb friction</i>	<i>0.5 N</i>

Hệ thống phi tuyến trên đã được thiết kế với một số bộ điều khiển như PID, MRAS trong [26], [42], vì vậy tác giả nghiên cứu áp dụng HAC cho mô hình trên để kiểm chứng tính khả thi và chất lượng bộ điều khiển cho đối tượng phi tuyến. Bộ điều khiển gồm có hai đầu vào và một đầu ra.

- Đầu vào thứ 1 là sai lệch $e(t)$ đặt vào bộ điều khiển, ký hiệu là E
- Đầu vào thứ 2 là tích phân của đầu vào thứ nhất, ký hiệu là IE.
- Đầu ra của bộ điều khiển ký hiệu là U.

Chọn bộ tham số tính toán:

$$G = \{0, \text{Âm (N)}, W, \text{Dương (P)}, 1\};$$

Các gia tử: Ít (L) và Nhiều (V);

$$H^- = \{\text{Ít (L)}\} = \{h_{-1}\}; q = 1; H^+ = \{\text{Nhiều (V)}\} = \{h_1\}; p = 1;$$

$$v(W) = \theta = 0.5; fm(N) = \theta = 0.5; fm(P) = 1 - \theta = 0.5.$$

Các tham số của các gia tử được lựa chọn như trong bảng 2.3

Bảng 2.3. Lựa chọn tham số cho các biến E, IE, U

		Input1 (E) Input2 (IE)		Output (U)	
H		$\mu(h)$		$\mu(h)$	
H-	Ít (L)	α	0.4	α	0.55
H+	Nhiều (V)	β	0.6	β	0.45

Nhãn ngôn ngữ trong đại số gia tử cho các biến E, IE, U như sau: Âm rất Nhiều (VVN), Âm Nhiều (VN), Âm (N), Âm Ít (LN), W, Dương Ít (LP), Dương (P), Dương Nhiều (VP) và Dương rất Nhiều (VVP).

Bảng luật điều khiển cho các nhãn ngôn ngữ HAC trong bảng 2.4.

Bảng 2.4. Luật điều khiển

U		E								
		VVN	VN	N	LN	W	LP	P	VP	VVP
IE	VVN	VVN	VVN	VVN	VVN	VVN	VN	N	LN	W
	VN	VVN	VVN	VVN	VVN	VN	N	LN	W	LP
	N	VVN	VVN	VVN	VN	N	LN	W	LP	P
	LN	VVN	VVN	VN	N	LN	W	LP	P	VP
	W	VVN	VN	N	LN	W	LP	P	VP	VVP
	LP	VN	N	LN	W	LP	P	VP	VVP	VVP
	P	N	LN	W	LP	P	VP	VVP	VVP	VVP
	VP	LN	W	LP	P	VP	VVP	VVP	VVP	VVP
	VVP	W	LP	P	VP	VVP	VVP	VVP	VVP	VVP

Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa cho biến E và IE:

VVN	VN	N	LN	W	LP	P	VP	VVP
0.108	0.18	0.3	0.38	0.5	0.62	0.7	0.82	0.892

Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa cho biến U

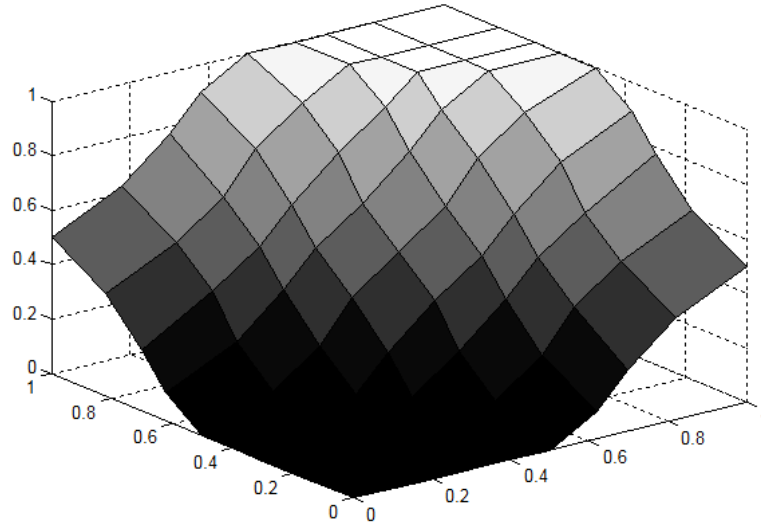
VVN	VN	N	LN	W	LP	P	VP	VVP
0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544

Chuyển bảng 2.4 ta được bảng SAM như bảng 2.5

Bảng 2.5. Bảng SAM

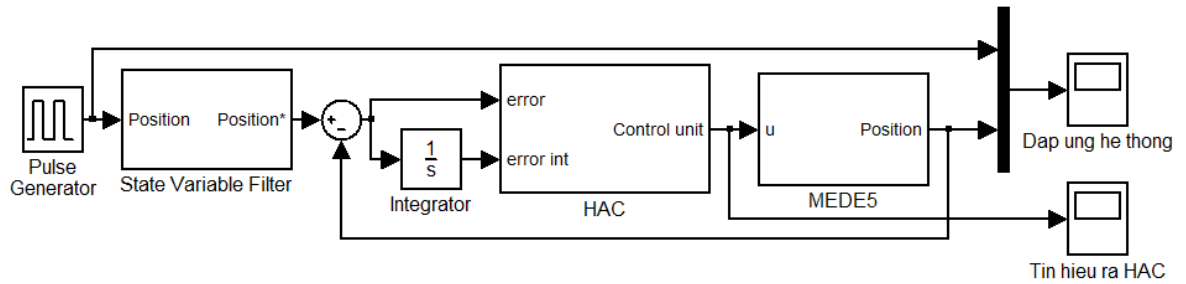
U		E								
		0.108	0.18	0.3	0.38	0.5	0.62	0.7	0.82	0.892
E	0.108	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5
	0.18	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238
	0.3	0.0456	0.0456	0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775
	0.38	0.0456	0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988
	0.5	0.0456	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544
	0.62	0.1012	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544	0.9544
	0.7	0.225	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544	0.9544	0.9544
	0.82	0.3762	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544	0.9544	0.9544	0.9544
	0.892	0.5	0.6238	0.775	0.8988	0.9544	0.9544	0.9544	0.9544	0.9544

Mặt cong ngữ nghĩa định lượng biểu diễn mối quan hệ vào - ra được thể hiện trên hình 2.11



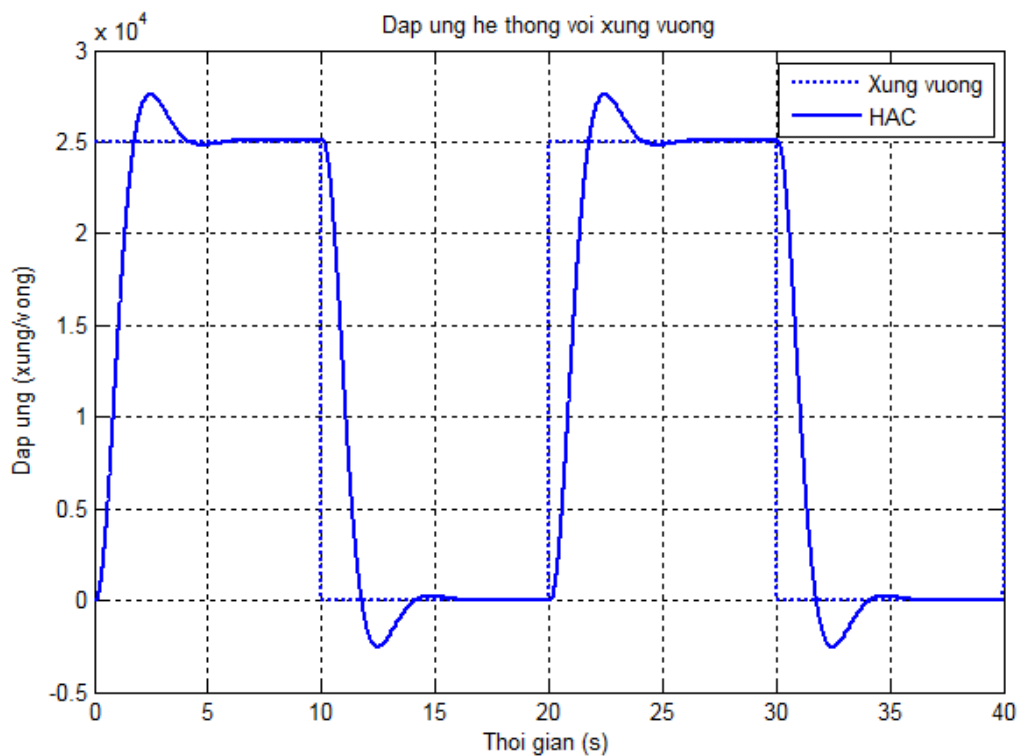
Hình 2.11. Mặt cong ngữ nghĩa định lượng

Mô phỏng hệ thống với HAC trên Matlab-Simulink như hình 2.12



Hình 2.12. Sơ đồ mô phỏng hệ thống

Mô phỏng trên Matlab với tín hiệu ra hệ thống là tín hiệu nhận được từ Encoder nên đáp ứng có đơn vị là xung/vòng. Với giá trị đặt là 25000 xung thì khi có sự sai lệch, tín hiệu vị trí từ encoder sẽ được gửi về và được so sánh với giá trị đặt của hệ thống, từ đó bộ điều khiển sẽ gửi tín hiệu để điều khiển động cơ sao cho tín hiệu ra bám chặt theo tín hiệu đặt. Kết quả mô phỏng hệ thống sử dụng HAC với kích thích xung vuông như hình 2.13



Hình 2.13. Đáp ứng của hệ với kích thích xung vuông

Nhận xét:

- Đáp ứng của hệ thống có độ quá điều chỉnh khoảng 20% nhưng thời gian xác lập nhanh khoảng 4.5s, ở trạng thái xác lập không có sai lệch tĩnh.

- Đã thiết kế HAC với hai đầu vào (đầu vào thứ hai là tích phân của đầu vào thứ nhất) và một đầu ra. Kết quả mô phỏng nhận thấy tín hiệu ra hệ thống ổn định, bám sát theo giá trị đặt và triệt tiêu được sai lệch tĩnh.

- Kết quả mô phỏng cho thấy có thể áp dụng được HAC trong những hệ thống điều khiển chuyển động theo một quỹ đạo mẫu với yêu cầu tác động nhanh và đảo chiều liên tục, HAC đáp ứng chất lượng hệ thống về độ quá điều chỉnh nhỏ, sai lệch tĩnh và thời gian quá độ.

2.2.3. Điều khiển đối tượng có trễ với hệ số trễ lớn**2.2.3.1. Mô hình toán học đối tượng có trễ**

Các đối tượng điều khiển có trễ thường gặp nhiều trong công nghiệp, giao thông, quân sự, ... và bài toán điều khiển luôn là một vấn đề được quan tâm. Chẳng hạn trong ngành công nghiệp như chế tạo vật liệu bán dẫn, chế tạo vật liệu sắt từ đòi hỏi phải có hệ thống điều khiển lò điện trở với độ chính xác nhất định. Với các đối tượng điều khiển phức tạp có trễ trong công nghiệp, để thiết kế bộ điều khiển nhằm đảm bảo chất lượng cho các đối tượng này phải đưa ra mô hình toán học của đối tượng một cách hợp lý nhất. Các đối tượng có trễ được mô tả bằng hàm truyền đạt như sau:

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{T s + 1}$$

Trong đó: K là hệ số khuếch đại, T là hằng số thời gian và τ là thời gian trễ của đối tượng. Các đối tượng trễ với hàm truyền như trên là một trong những đối tượng khá phổ biến được thiết kế với bộ điều khiển PID kinh điển. Tuy nhiên kết quả đạt được cho thấy bộ PID kinh điển cho phép K, T, τ thay đổi

trong một phạm vi rất hẹp và như vậy không đáp ứng được những đối tượng thường xuyên thay đổi tham số với phạm vi rộng. Mặt khác, khi thiết kế bộ điều khiển, việc xấp xỉ có thể dẫn đến sai số lớn nếu thời gian trễ τ là đáng kể so với hằng số thời gian T . Vì vậy, việc thiết kế bộ điều khiển đảm bảo chất lượng với đối tượng có trễ lớn là rất khó khăn khi τ đáng kể so với T . Để giải quyết vấn đề trên, luận án nghiên cứu sử dụng đại số gia tử để thiết kế bộ điều khiển cho đối tượng có trễ với hằng số trễ lớn.

2.2.3.2. Ứng dụng thiết kế HAC cho đối tượng có hằng số trễ lớn

Xét đối tượng có hàm truyền (2.3):

$$W(s) = \frac{1.2e^{-109s}}{275s + 1} \quad (2.3)$$

Thiết kế bộ điều khiển đảm bảo chất lượng với đối tượng (2.3) là rất khó khăn khi τ đáng kể so với T (trong trường hợp này $\tau = 40\%T$). Việc thiết kế HAC đáp ứng đối tượng trên càng khẳng định tính khả thi của việc sử dụng HA trong thiết kế bộ điều khiển.

Bộ điều khiển gồm có hai đầu vào và một đầu ra.

- Đầu vào thứ 1 là sai lệch $e(t)$ đặt vào bộ điều khiển, ký hiệu là E
- Đầu vào thứ 2 là đạo hàm của đầu vào thứ nhất, ký hiệu là DE .
- Đầu ra của bộ điều khiển ký hiệu là U .

Chọn bộ tham số cho các gia tử:

$$G = \{0, \text{Âm (N)}, W, \text{Dương (P)}, 1\};$$

Các gia tử: Ít (L) và Nhiều (V);

$$H^- = \{L\} = \{h_{-1}\}; \quad H^+ = \{V\} = \{h_1\};$$

$$W = 0.5; f_m(N) = \theta = 0.5;$$

$$f_m(P) = 1 - f_m(N) = 1 - 0.5 = 0.5.$$

$$\mu(V) = \mu(h_1) = 0.5 = \mu(L) = \mu(h_{-1}) = 0.5;$$

Các tham số của gia tử được lựa chọn như sau:

		Input1 (E) Input2 (DE)		Output (U)	
H		$\mu(h)$		$\mu(h)$	
H-	Ít (L)	α	0.6	α	0.64
H+	Nhiều (V)	β	0.4	β	0.36

Chọn tập giá trị ngôn ngữ cho E, DE và U là 5 giá trị ngôn ngữ gồm Âm Nhiều (VN), Âm Ít (LN), W, Dương Ít (LP), Dương Nhiều (VP)) và hệ luật điều khiển theo bảng 2.6.

Bảng 2.6. Bảng luật điều khiển theo nhãn ngôn ngữ của HA

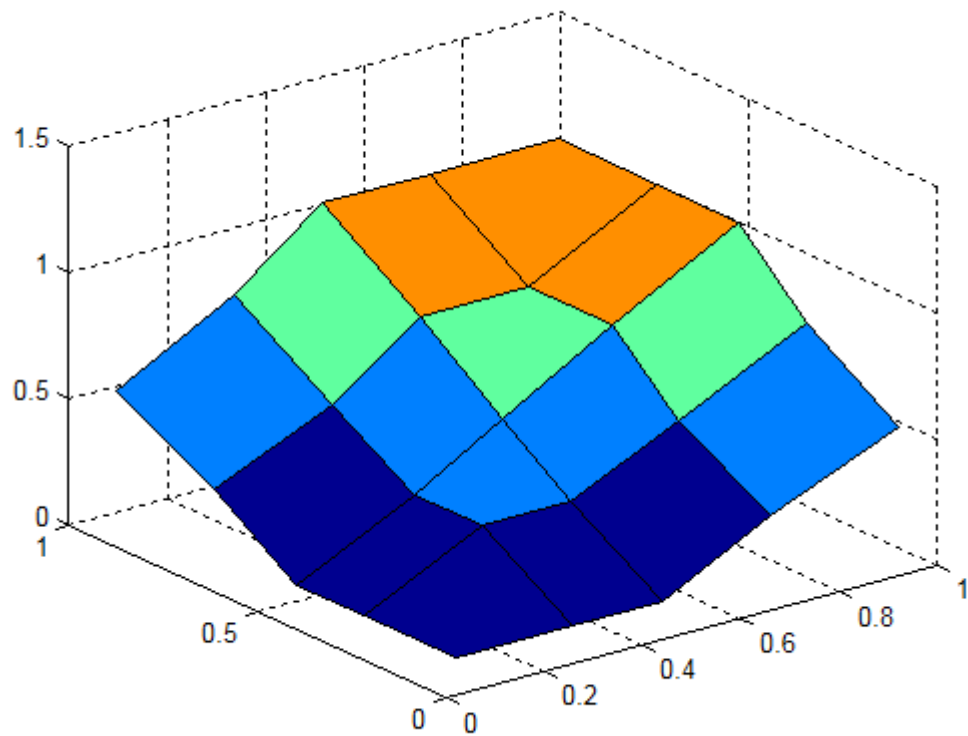
DE \ E	VN	LN	W	LP	VP
VN	VN	VN	VN	LN	W
LN	VN	LN	LN	W	LP
W	VN	LN	W	LP	VP
LP	LN	W	LP	LP	VP
VP	W	LP	VP	VP	VP

Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa cho bảng 2.6 được bảng SAM 2.7.

Bảng 2.7. Bảng SAM

DE \ E	0.08	0.32	0.5	0.72	0.98
0.08	0.0648	0.0648	0.0648	0.2952	0.5
0.32	0.0648	0.2952	0.2952	0.5	0.7552
0.5	0.0648	0.2952	0.5	0.7552	0.9828
0.72	0.2952	0.5	0.7552	0.7552	0.9828
0.98	0.5	0.7552	0.9828	0.9828	0.9828

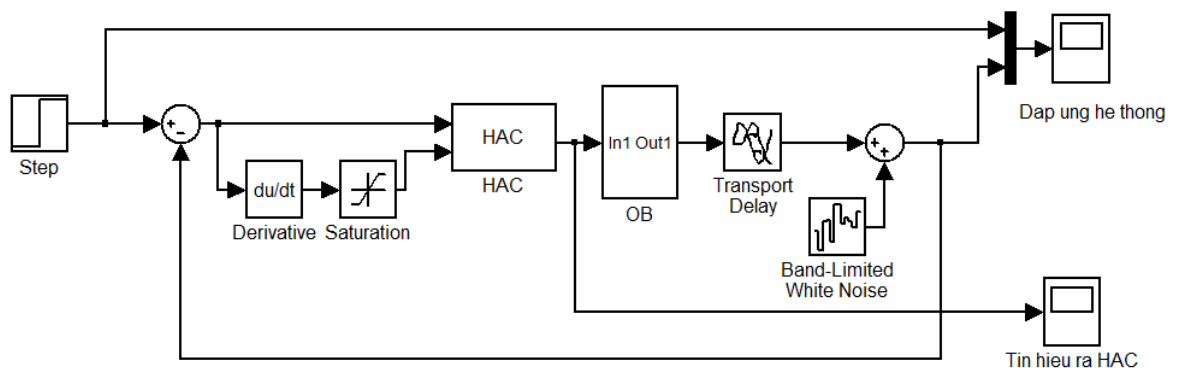
Mặt cong ngữ nghĩa định lượng biểu diễn mối quan hệ vào - ra được thể hiện trên hình 2.14



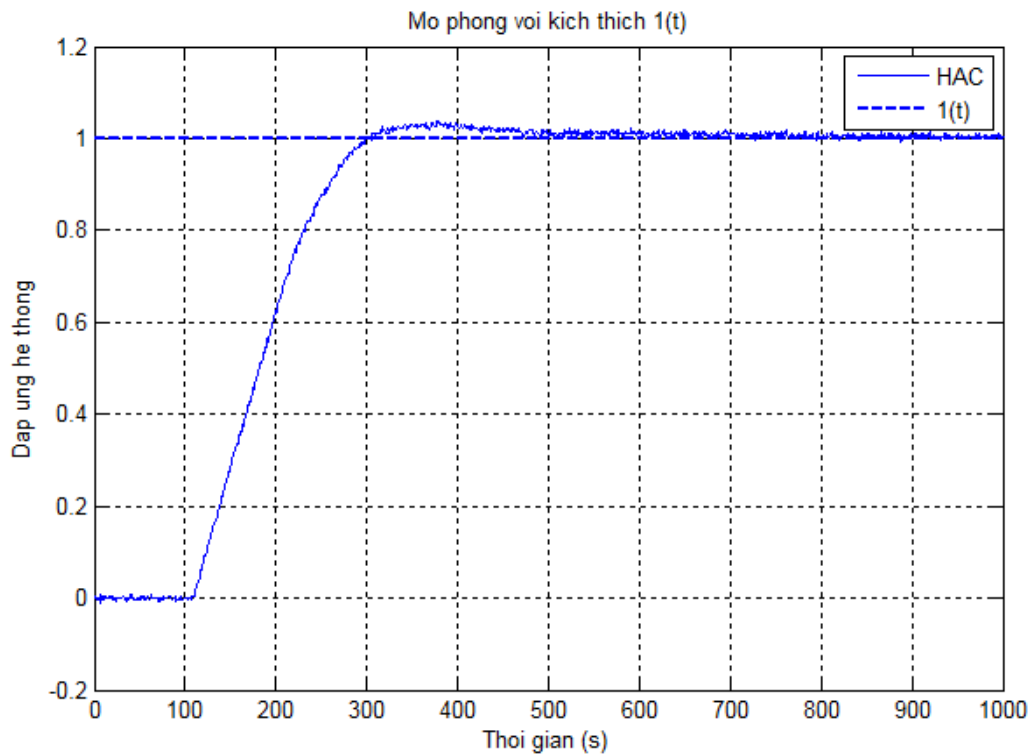
Hình 2.14. Mặt cong ngữ nghĩa định lượng

Mô phỏng bằng Matlab - Simulink:

Sử dụng Matlab - Simulink mô phỏng bộ điều khiển như hình 2.15



Hình 2.15. Sơ đồ mô phỏng hệ thống



Hình 2.16. Đáp ứng hệ với kích thích $1(t)$

Nhận xét:

- Kết quả mô phỏng cho thấy HAC đáp ứng được yêu cầu về chất lượng điều khiển của hệ thống với thời gian xác lập nhanh, độ quá điều chỉnh nhỏ và sai lệch không đáng kể.

- Đã xây dựng HAC cho một đối tượng có trễ với hệ số trễ rất lớn, đáp ứng được yêu cầu chất lượng về sai lệch tĩnh, độ quá điều chỉnh, thời gian quá độ. Kết quả mô phỏng cho thấy HAC có thể áp dụng được trong lĩnh vực điều khiển.

2.3. Kết luận chương 2

- Trong chương này đã giới thiệu phương pháp mới thiết kế bộ điều khiển, đó là sử dụng đại số gia tử như một công cụ tính toán mềm áp dụng được trong lĩnh vực điều khiển. Đã tiến hành áp dụng bằng mô phỏng trên máy tính với rất nhiều đối tượng khác nhau và đi sâu nghiên cứu áp dụng với một số đối tượng khó điều khiển trong công nghiệp. Kết quả cụ thể cho thấy

hệ thống tự động sử dụng HAC đáp ứng được các yêu cầu về chất lượng và mở ra khả năng ứng dụng trong công nghiệp.

- Trong quá trình thiết kế hệ thống cho thấy được ưu điểm khi sử dụng HAC, đó là sử dụng HA trong thiết kế bộ điều khiển có thể tạo ra một cấu trúc đại số dưới dạng quan hệ hàm, cho phép hình thành một tập giá trị ngôn ngữ lớn tùy ý để mô tả các quan hệ vào - ra. Như vậy chất lượng của hệ thống điều khiển đạt được có thể tốt hơn so với điều khiển mờ.

- Tuy nhiên, cũng nhận thấy một nhược điểm của HAC: nếu như FLC qua mỗi bước thiết kế đều có thể tham khảo ý kiến chuyên gia thì HAC không thể thực hiện được việc này. Vì vậy việc thiết kế sẽ khó khăn hơn hoặc phải có giải pháp thiết kế tự động theo một chỉ tiêu chất lượng đặt ra trước. Đây là vấn đề đặt ra cho hướng nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 3

CẢI TIẾN BỘ ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ

Tóm tắt chương 3

Nghiên cứu cải tiến và tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC áp dụng cho đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng với mục tiêu:

- *Nâng cao chất lượng bộ điều khiển bằng việc tăng thêm đầu vào và giảm lược số luật điều khiển.*
- *Tối ưu hóa quá trình thiết kế bằng việc xây dựng phương pháp tự động tìm tham số HAC sử dụng công cụ hỗ trợ là giải thuật di truyền.*

Các kết quả được minh họa kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên Matlab với hệ thống cụ thể.

3.1. Đề xuất nghiên cứu

3.1.1. Đặt vấn đề

Các bộ điều khiển thông minh ngày càng được ứng dụng nhiều vào các hệ thống trong công nghiệp [2], [8], [29]. Việc sử dụng các công cụ tính toán mềm như logic mờ, đại số gia tử trong điều khiển có ưu điểm là có thể điều khiển được các đối tượng mà thông tin không đầy đủ và nếu thiết kế tốt thì bản thân các bộ điều khiển này là các bộ điều khiển thông minh nên khá phù hợp với các đối tượng phi tuyến.

Tuy nhiên các bộ điều khiển trên cũng tồn tại một số nhược điểm:

- (1) Độ phức tạp của thuật toán và thời gian tính toán lớn hơn so với bộ điều khiển PID nên khó có thể điều khiển được các đối tượng yêu cầu cao về độ tác động nhanh. Với ý tưởng là: nếu lấy đầy đủ các trạng thái trong không

gian pha của sai lệch đưa tới đầu vào bộ điều khiển (giống như bộ điều khiển PID) thì sẽ có thể giảm được hệ luật và thời gian tính toán của bộ điều khiển. Từ ý tưởng đó, các tác giả đã thiết kế bộ điều khiển mờ với 3 đầu vào là sai lệch, đạo hàm sai lệch, tích phân của sai lệch và đã đạt được những thành công nhất định, giảm được số luật điều khiển trong quá trình thiết kế bộ điều khiển, chẳng hạn như đã giảm từ 75 luật điều khiển xuống còn 27 luật điều khiển [25]. Tuy nhiên, việc làm này vẫn tồn tại các hạn chế:

- Việc nội suy để tính toán giá trị đầu ra bộ điều khiển là rất khó khăn vì phải nội suy trong không gian 4 chiều với khối lượng tính toán và công thức phức tạp.

- Số lượng luật điều khiển còn tương đối nhiều nên gây khó khăn cho người thiết kế trong việc lập trình thiết kế bộ điều khiển.

(2) Nếu như FLC qua mỗi bước thiết kế đều có thể tham khảo ý kiến chuyên gia thì HAC không thể thực hiện được việc này nên việc thiết kế HAC sẽ khó khăn hơn. Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng HA trong lĩnh vực điều khiển đã xác định các tham số của HAC bằng định tính (phụ thuộc nhiều vào trực giác người thiết kế) [7], [12]. Vì vậy, dễ dàng nhận thấy muốn khắc phục nhược điểm này của HAC, cần phải có giải pháp tự động tìm tham số cho HAC bằng việc thiết kế theo một chỉ tiêu chất lượng đặt ra trước.

3.1.2. Đề xuất

Nhằm khắc phục các nhược điểm (1) và (2) từ phân tích trên, đề xuất nghiên cứu cải tiến nâng cao chất lượng và tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển sử dụng HA áp dụng cho đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng với mục tiêu:

- Đơn giản hóa thuật toán thiết kế bằng việc tăng thêm đầu vào và giảm lược số luật điều khiển dẫn đến giảm khối lượng tính toán nhưng vẫn đảm bảo chất lượng điều khiển.

- Tối ưu hóa quá trình thiết kế bằng việc sử dụng công cụ hỗ trợ giải thuật di truyền lập trình thiết kế HAC theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch, kết quả xây dựng được phương pháp tự động tìm tham số HAC.

Các kết quả nghiên cứu lý thuyết cần được minh họa kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng và thực nghiệm với mô hình vật lý hệ thống cụ thể.

3.1.2.1. Đề xuất nghiên cứu nâng cao chất lượng HAC

Vấn đề giảm thời gian tính toán và đơn giản hóa trong lập trình vi xử lý (bộ điều khiển) nhằm khắc phục nhược điểm (1) luôn được các nhà thiết kế quan tâm nghiên cứu. Với HAC, ta có thể kết nhập (hoặc kết nhập có trọng số) các giá trị định lượng ngữ nghĩa của các biến vào (ánh xạ: $R^3 \rightarrow R$) để xác định được mối quan hệ vào - ra trong không gian 2 chiều nên có thể giảm lược được khá nhiều số lượng luật điều khiển. Vì vậy, để nâng cao chất lượng HAC, tác giả đề xuất nghiên cứu cải tiến HAC bằng việc bổ sung thêm một đầu vào thứ 3 cho HAC đồng thời giảm lược số lượng các luật điều khiển giữa đầu vào và đầu ra.

- Bổ sung đầu vào thứ ba đồng thời giảm lược số luật điều khiển ở đây là một bài toán mới với lý thuyết đại số gia tử. Việc bổ sung này nhằm cung cấp thêm thông tin đầu vào cho bộ điều khiển, đơn giản hóa thuật toán thiết kế nhưng vẫn đảm bảo chất lượng điều khiển. Với mục tiêu điều khiển hệ thống bám theo tín hiệu vào, tác giả đã chọn đầu vào thứ 3 là tích phân của sai lệch với mục đích khử sai lệch tĩnh, đảm bảo độ chính xác cho hệ thống.

- Việc tăng thêm đầu vào thứ ba sẽ bổ sung lượng thông tin về sự thay đổi trong hệ thống cũng như nhiều tác động, từ đó giúp người thiết kế giảm lược được số giá trị ngôn ngữ và tập luật điều khiển, giảm thiểu khối lượng tính toán dẫn đến giảm thời gian tính toán cho vi xử lý (bộ điều khiển) được lựa chọn thực tế.

3.1.2.2. Đề xuất nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC

Trong các hệ thống công nghiệp, chất lượng quá trình quá độ nói nên việc bộ điều khiển có đáp ứng được yêu cầu công nghệ hay không. Vì vậy khi thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống tự động, ta cần kiểm tra thông qua chất lượng quá trình quá độ. Chất lượng của quá trình quá độ có thể được đánh giá bằng các chỉ tiêu rời rạc như: độ quá điều chỉnh, số lần dao động, thời gian quá độ, ...

Tuy nhiên, chất lượng của quá trình quá độ còn được đánh giá bằng chỉ tiêu tổng hợp. Với các hệ không dao động, chỉ tiêu tổng hợp có thể được đánh giá bằng tích phân sai lệch. Còn với các hệ dao động và có quá điều chỉnh, tiêu chuẩn tổng hợp thông qua tích phân sai lệch $e(t)$ không đánh giá được chất lượng quá độ dẫn đến đánh giá sai chất lượng bộ điều khiển. Để khắc phục nhược điểm này, có thể đánh giá chất lượng quá độ và thiết kế bộ điều khiển theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch theo (3.0) như sau:

$$I_0 = \int_0^{\infty} [e(t)^2] dt \rightarrow \min \quad (3.0)$$

Tích phân bình phương sai lệch đôi khi còn chưa phản ánh chính xác chất lượng quá độ. Trong trường hợp cần thiết, ta phải kể đến cả bình phương tốc độ biến thiên của sai lệch:

$$I = \int_0^{\infty} [e(t)^2 + (\alpha_1 \frac{de}{dt})^2] dt \rightarrow \min \quad (3.1)$$

(Thông thường α_1 được chọn trong khoảng $\frac{t_{qd}}{6} < \alpha_1 < \frac{t_{qd}}{3}$)

Như đã nói, HAC có thể đáp ứng tốt đối với các hệ thống công nghiệp nếu khắc phục được nhược điểm (2), tức là phải có giải pháp thiết kế tự động theo một chỉ tiêu chất lượng đặt ra trước.

Với mục tiêu tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC, tác giả đề xuất nghiên cứu thiết kế HAC theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch tức là tìm các tham số của HAC sao cho
$$I = \int_0^{\infty} [e(t)^2 + (\alpha_1 \frac{de}{dt})^2] dt \rightarrow \min .$$

Để giải bài toán tối ưu theo (3.1) có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau. Trong luận án, tác giả đề xuất nghiên cứu sử dụng giải thuật di truyền xây dựng phương pháp tự động xác định các tham số cho HAC.

3.2. Nghiên cứu cải tiến HAC

Nghiên cứu cải tiến thiết kế HAC theo 2 đề xuất ở trên: nâng cao chất lượng và tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển. Kết quả nghiên cứu được minh họa bằng việc thiết kế HAC cải tiến cho một hệ thống phi tuyến cụ thể là hệ thống Ball and Beam (là một hệ thống thí nghiệm quan trọng trong phạm trù điều khiển chuyên động).

3.2.1. Nghiên cứu nâng cao chất lượng HAC

Các tác giả đã thiết kế bộ điều khiển mờ với 3 đầu vào là sai lệch, đạo hàm sai lệch, tích phân của sai lệch và đã đạt được những thành công nhất định với kết quả đã giảm được từ 75 luật điều khiển xuống còn 27 luật điều khiển [25]. Tuy nhiên, việc nội suy để tính toán giá trị đầu ra bộ điều khiển là rất khó khăn vì phải nội suy trong không gian 4 chiều với khối lượng phép tính và công thức phức tạp. Việc giảm xuống còn 27 luật điều khiển đã tốt hơn nhiều so với hệ luật ban đầu nhưng số lượng luật điều khiển như vậy vẫn còn khá nhiều và khá phức tạp khi lập trình thiết kế bộ điều khiển.

Đối với bài toán điều khiển mờ trên, sử dụng HA có thể kết nhập (hoặc kết nhập có trọng số) các giá trị định lượng ngữ nghĩa của các biến vào (ánh xạ: $R^3 \rightarrow R$) để xác định được mối quan hệ vào - ra trong không gian 2 chiều nên có thể tiếp tục giản lược thêm được khá nhiều số lượng luật điều khiển.

Cải tiến bộ điều khiển theo đề xuất (gọi là NEW_HAC): ngoài đầu vào của bộ điều khiển là sai lệch $e(t)$, đạo hàm sai lệch $\dot{e}(t)$ (như đã thiết kế trong chương 2), đưa thêm một đầu vào thứ 3 là tích phân của sai lệch $\int e(t)dt$.

Bước 1: Chọn bộ tham số cho các gia tử:

$$G = \{0, \text{Âm (N)}, W, \text{Dương (P)}, 1\};$$

$$\text{Các gia tử Ít (L) và Nhiều (V); } H^- = \{L\} = \{h_{-1}\}; H^+ = \{V\} = \{h_1\};$$

- Chọn tập giá trị ngôn ngữ cho đầu vào sai lệch $e(t)$ (kí hiệu E) gồm 5 giá trị ngôn ngữ, đầu vào đạo hàm sai lệch $\dot{e}(t)$ (kí hiệu DE) gồm 5 giá trị ngôn ngữ và đầu ra (kí hiệu U) gồm 5 giá trị ngôn ngữ, kí hiệu như sau: Âm Nhiều (VN,) Âm Ít (LN), W, Dương Ít (LP) và Dương Nhiều (VP).

- Chọn tập giá trị ngôn ngữ cho đầu vào tích phân sai lệch $\int e(t)dt$ (kí hiệu IE) gồm 3 giá trị ngôn ngữ, kí hiệu như sau: Âm (N), W, Dương (P).

- Kết hợp kinh nghiệm thiết kế và hệ luật trong [25], thiết kế hệ luật gồm 27 luật điều khiển với các nhãn ngôn ngữ của HA theo bảng 3.1.

Bảng 3.1. 27 tập luật điều khiển với nhãn ngôn ngữ HA

E = W DE = W U = LP IE = P		DE				
E = W DE = W U = LN IE = N						
IE = W	U	VN	LN	W	LP	VP
E	VN	VN	VN	VN	LN	W
	LN	VN	VN	LN	W	LP
	W	VN	LN	W	LP	VP
	LP	LN	W	LP	VP	VP
	VP	W	LP	VP	VP	VP

Bước 2: cải tiến hệ luật

- Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa cho E, DE, IE và U.
- Thành lập bảng SAM từ 27 luật điều khiển trong bảng 3.1.
- Để tránh mất mát thông tin so với việc sử dụng phép kết nhập “*min*”, sử dụng phép kết nhập có trọng số với các giá trị của đầu vào NEW_HAC (Input_NEW_HAC) như sau: $\text{Input_NEW_HAC} = w_1 * E + w_2 * DE + w_3 * IE$.
- Lúc này, đầu vào NEW_HAC gồm 27 giá trị định lượng ngữ nghĩa và đầu ra U của NEW_HAC (Output_NEW_HAC) gồm 5 giá trị định lượng ngữ nghĩa. Kết nhập 27 điểm giá trị định lượng ngữ nghĩa của Input_NEW_HAC bằng phép lấy trung bình tại các điểm có cùng giá trị Output_NEW_HAC. Hệ luật điều khiển của NEW_HAC cải tiến lúc này sẽ giảm xuống chỉ còn 5 luật điều khiển. Qua khảo sát thấy rằng với phép kết nhập này lượng thông tin bị mất mát là ít nhất, không làm tăng độ phức tạp của đường cong ngữ nghĩa mà lại cho kết quả khá chính xác.
- Để đảm bảo hệ thống vẫn trong miền xác định, bổ sung thêm 2 phần tử trong HA mang ý nghĩa “tuyệt đối” với giá trị là “0” và “1”. Vậy NEW_HAC cải tiến được thiết kế với 3 đầu vào chỉ còn 7 tập luật điều khiển.

Bước 3:

Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng và giải định lượng ngữ nghĩa tìm giá trị thực.

3.2.2. Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC

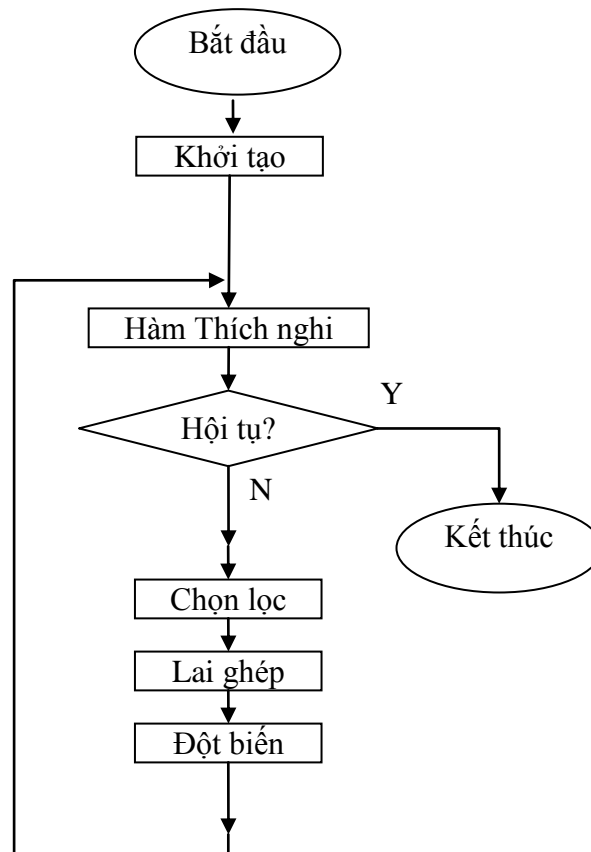
Để tìm được các tham số HAC một cách tự động, tác giả thiết kế NEW_HAC theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch (có tính đến ảnh hưởng của tốc độ biến thiên sai lệch $e(t)$ lên chất lượng quá trình quá độ) sử dụng GA hỗ trợ tính toán, lập trình. Thuật toán gọi là NEW_HAC_GA(PAR, f) với f là hàm thích nghi được tính theo (3.1).

Giả sử rằng tồn tại một tiêu chuẩn được xác định bởi hàm $g(teta, anpha_in, anpha_out, w_1, w_2)$ để đánh giá việc thực hiện thiết kế NEW_HAC, chẳng hạn $g(teta, anpha_in, anpha_out, w_1, w_2)$ xác định theo (3.1) trong đó $e(t)$ là sai lệch giữa đầu ra hệ thống với giá trị đặt. Khi đó, bài toán tối ưu có thể được phát biểu như sau:

Bài toán tối ưu: $g(teta, anpha_in, anpha_out, w_1, w_2) \rightarrow \min$

Thỏa các điều kiện: $0 < teta, anpha_in, anpha_out, w_1, w_2 < 1$

Giải thuật di truyền sử dụng cho bài toán tìm tham số của NEW_HAC phải thực hiện các bước theo lưu đồ sau:



▪ **Bước 1: Chọn các tham số cho giải thuật di truyền**

Các tham số bao gồm kích thước quần thể (popsize), số lượng thế hệ (generation), xác suất lai tạo (P_c) và xác suất đột biến (P_m). Trong chương trình, các tham số được lựa chọn như sau:

```

popsize=15;

generation=50;

bits=50;

Pc=0.7;

Pm=0.001;

```

▪ *Bước 2: Khởi tạo quần thể các nhiễm sắc thể ban đầu*

Bước này được thực hiện nhờ phép mã hóa bộ các tham số của NEW_HAC thành một nhiễm sắc thể là một chuỗi bit 0, 1 có độ dài tùy thuộc theo sai số tính sau dấu phẩy của các tham số. Về bản chất, đây là phép ánh xạ tuyến tính có dạng như (3.2):

$$C_{ij} = C_{min} + \frac{b}{2^L - 1} (C_{max} - C_{min}) \quad (3.2)$$

Trong quá trình thực hiện, một bộ tham số cho NEW_HAC như ($teta$, $anpha_in$, $anpha_out$, w_1 , w_2) được mã hóa thành một chuỗi gen gồm 50 bit, với quá trình mã hoá nhị phân.

▪ *Bước 3: Đánh giá độ thích nghi của từng cá thể*

Trong bước này, giải thuật sẽ tìm hàm thích nghi và xác định giá trị thích nghi của từng nhiễm sắc thể. Hàm thích nghi phản ánh quá trình chọn lọc tự nhiên theo một mức độ thích nghi nhất định. Trong việc chỉnh định các tham số của NEW_HAC sau này, quá trình thay đổi của hệ thống thể hiện trên mức độ thích nghi của hệ thống, mức độ thích nghi của các cá thể được tính theo công thức (3.3)

$$f = \frac{I}{I + I_m^2} \quad (3.3)$$

Với $I_m = I$ (I tính theo (3.1))

- *Bước 4: Đánh giá tính hội tụ sau mỗi thế hệ*

Giải thuật hội tụ khi đạt đến số lượng thế hệ giới hạn hoặc mức sai số đầu ra thỏa mãn. Nếu điều kiện hội tụ thỏa mãn thì dừng chương trình, nếu chưa tìm được giải pháp tối ưu thì thực hiện bước 5.

- *Bước 5: Thực hiện các phép toán di truyền*

Sao chép lại các nhiễm sắc thể dựa vào giá trị thích nghi của chúng (sinh sản) và tạo ra những nhiễm sắc thể mới bằng các phép toán di truyền (lai ghép hay đột biến).

Với phép lai ghép, chọn ngẫu nhiên vị trí i của hai nhiễm sắc thể và hoán đổi các gen từ bên phải vị trí i về phía cuối của hai nhiễm sắc thể cho nhau. Kết quả thu được hai nhiễm sắc thể mới:

Cha mẹ A	011011 0001	→ Con	011011 1100
B	110001 1100		110001 0001

Với phép toán đột biến, chọn ngẫu nhiên một vị trí i trong nhiễm sắc thể. Nhiễm sắc thể ở thế hệ kế tiếp là nhiễm sắc thể của thế hệ trước nhưng thay thế gen tại vị trí từ 0 thành 1 hoặc ngược lại.

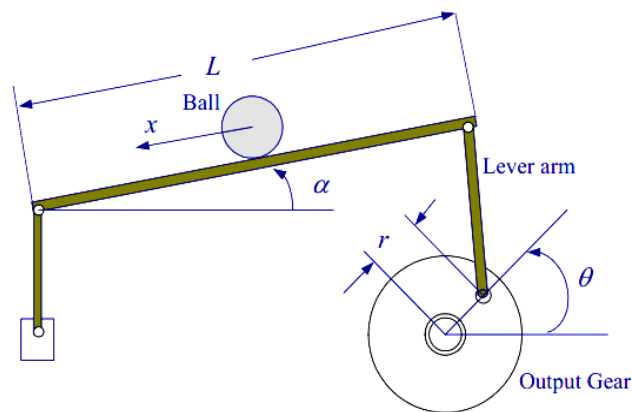
Sau khi thực hiện các phép toán, ta trở lại bước 2 để đánh giá độ thích nghi của quần thể mới tạo ra. Quá trình này được lặp đi lặp lại cho đến khi điều kiện hội tụ được thỏa mãn.

3.3. Ứng dụng NEW_HAC cải tiến cho đối tượng phi tuyến

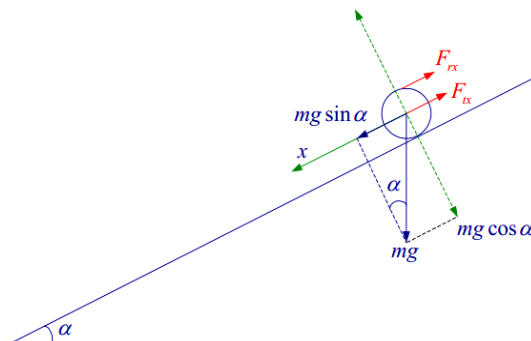
Nhằm minh họa kiểm chứng các kết quả nghiên cứu cải tiến HAC với việc tăng thêm đầu vào và phương pháp tự động xác định tham số, tác giả áp dụng thiết kế NEW_HAC cải tiến cho đối tượng phi tuyến cụ thể là mô hình hệ thống phi tuyến Ball and Beam.

3.3.1. Xây dựng mô hình toán học hệ thống

Hệ thống Ball and Beam được sử dụng rộng rãi, nhiệm vụ của điều khiển là giữ cho Ball ở vị trí mong muốn [22], [29], [40]. Hệ thống mô tả trong hình 3.1, Ball lăn dọc trên chiều dài của Beam, vị trí của Ball được đo bởi cảm biến, Beam được truyền động qua trục động cơ điện và vì vậy Beam có thể nghiêng xung quanh trọng tâm thông qua tín hiệu điều khiển động cơ.



Hình 3.1. Mô tả hệ thống Ball and beam



Hình 3.2. Mô tả động học hệ thống Ball and beam

Các tham số của hệ thống như sau:

- L Chiều dài Beam
- r Độ lệch tâm của cơ cấu đòn bẩy
- α Tọa độ góc của Beam
- θ Góc của bánh răng servo

m Khối lượng của Ball

R Bán kính của Ball

J Mô men quán tính của Ball

g Gia tốc trọng trường

Công việc điều khiển là điều chỉnh một cách tự động vị trí của Ball trên Beam bằng việc thay đổi góc của Beam vì gia tốc của Ball tỷ lệ với độ nghiêng của Beam. Đây là nhiệm vụ điều khiển khó khăn bởi vì Ball không đứng yên trên một vị trí cố định trên Beam. Trong thực tế, có nhiều thành phần nhiễu tác động lên hệ thống Ball and Beam gây khó khăn cho việc thiết kế bộ điều khiển.

Xét sơ đồ vật thể tự do biểu diễn ở hình 3.2. Bỏ qua lực ma sát, hai lực ảnh hưởng đến chuyển động của bóng là:

F_{tx} Lực do chuyển động tịnh tiến gây ra.

F_{rx} Lực do chuyển động quay của bóng gây ra.

Biểu diễn thành phần gia tốc theo trục x là $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$, lực do chuyển động tịnh tiến gây ra là $F_{tx} = m\ddot{x}$

Mômen do chuyển động quay của bóng gây ra là:

$$T_r = F_{rx}R = J \frac{d\omega_b}{dt} = J \frac{d(v_b/R)}{dt} = J \frac{d^2(x/R)}{dt^2} = \frac{J}{R} \ddot{x}$$

Thay mômen quán tính của bóng (hình cầu $J = \frac{2}{5}mR^2$) vào, ta có $F_{rx} = \frac{2}{5}m\ddot{x}$

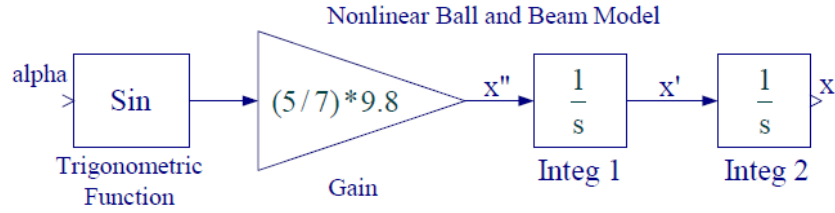
Áp dụng định luật 2 Newton đối với các lực theo phương nằm nghiêng, ta có:

$$F_{rx} + F_{tx} = mg \sin \alpha \Rightarrow \frac{2}{5}m\ddot{x} + m\ddot{x} = mg \sin \alpha$$

Vậy ta có phương trình phi tuyến mô tả động học hệ Ball and Beam như (3.4)

$$\ddot{x} = \frac{5}{7} g \sin \alpha \quad (3.4)$$

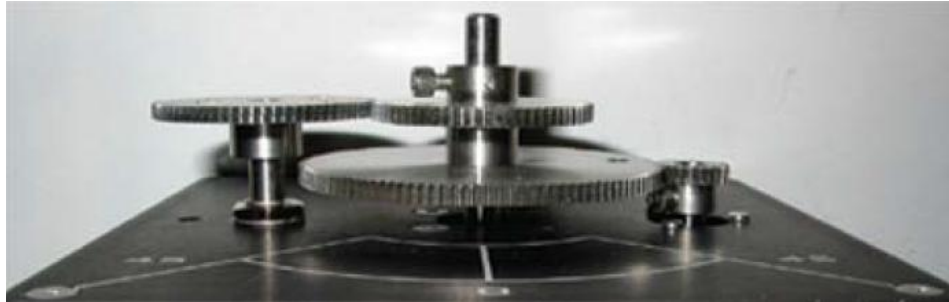
Phương trình phi tuyến (3.4) mô tả động học hệ Ball and Beam được thể hiện dưới dạng sơ đồ khối như hình 3.3.



Hình 3.3. Sơ đồ khối mô hình phi tuyến hệ Ball and Beam

Trong hệ thống này, động cơ servo được truyền động bởi hệ thống bánh răng như hình 3.4. Coi cung tròn mà bánh răng quay được ở bán kính r bằng cung tròn mà tay đòn quay được ở bán kính L ta có $r\theta = L\alpha$ hay ta có (3.5)

$$\alpha = \frac{r}{L} \theta \quad (3.5)$$

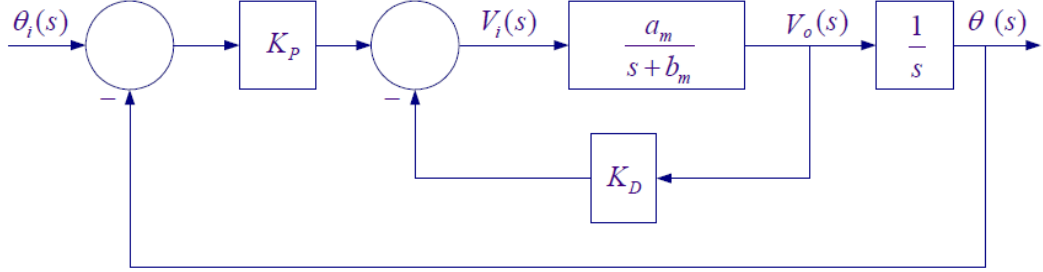


Hình 3.4. Hệ thống bánh răng truyền động

Hàm truyền của động cơ servo với đầu ra vị trí mô tả theo (3.6). Với hệ thống này, mục tiêu là đầu ra của động cơ servo lấy từ encoder là góc $\theta(t)$ bám theo đầu vào là góc $\theta_i(t)$.

$$\frac{\theta(s)}{V_i(s)} = \frac{a_m}{s(s + b_m)} \quad (3.6)$$

Hàm truyền của động cơ servo với đầu ra vị trí mô tả theo (3.6) thể hiện trong sơ đồ khối ở hình 3.5.



Hình 3.5. Sơ đồ khối động cơ servo với đầu ra vị trí

Từ các công thức (3.4), (3.5) và (3.6), ta có mô hình phi tuyến cho hệ Ball and Beam được xây dựng bởi hệ phương trình (3.7):

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{5}{7} g \sin \alpha \\ \alpha = \frac{r}{L} \theta \\ \frac{\theta(s)}{V_i(s)} = \frac{a_m}{s(s + b_m)} \end{cases} \quad (3.7)$$

3.3.2. Áp dụng NEW_HAC với 3 đầu vào và giảm lược luật

3.3.2.1. Thiết kế NEW_HAC

Bước 1: chọn bộ tham số tính toán

$$G = \{0, \text{Âm (N)}, W, \text{Dương (P)}, 1\};$$

$$H^- = \{\text{Ít (L)}\} = \{h_{-1}\}; q = 1;$$

$$H^+ = \{\text{Nhiều (V)}\} = \{h_1\}; p = 1; v(W) = \theta = 0.5;$$

$$fm(N) = \theta = 0.5; fm(P) = 1 - \theta = 0.5.$$

Các gia tử được lựa chọn theo kinh nghiệm như trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Lựa chọn tham số cho các biến E, DE, IE và U

		Input1 (E)		Output (U)	
		Input2 (DE)			
		Input3 (IE)			
H		$\mu(h)$		$\mu(h)$	
H-	Ít (L)	α	0.35	α	0.5
H+	Nhiều (V)	β	0.65	β	0.5

Bước 2: cải tiến hệ luật

- Tính toán các giá trị định lượng ngữ nghĩa cho các biến

Giá trị định lượng ngữ nghĩa cho E, DE:

VN	LN	W	LP	VP
0.2113	0.4387	0.5	0.5613	0.7888

Giá trị định lượng ngữ nghĩa cho biến IE:

N	W	P
0.325	0.5	0.675

Giá trị định lượng ngữ nghĩa cho biến U:

VN	LN	W	LP	VP
0.125	0.375	0.5	0.625	0.875

- Thành lập bảng SAM theo bảng 3.1 được bảng 3.3

Bảng 3.3. Bảng SAM gồm 27 luật

IE = 0.675 E = 0.5 U=0.625 DE = 0.5		DE				
IE = 0.325 E = 0.5 U=0.375 DE = 0.5						
IE=0.5	U	0.1513	0.3988	0.5	0.6012	0.8488
E	0.1513	0.125	0.125	0.125	0.375	0.5
	0.3988	0.125	0.125	0.375	0.5	0.625
	0.5	0.125	0.375	0.5	0.625	0.875
	0.6012	0.375	0.5	0.625	0.875	0.875
	0.8488	0.5	0.625	0.875	0.875	0.875

- Lựa chọn các trọng số kết nhập theo kinh nghiệm với $w_1=0.5$, $w_2=0.45$ và $w_3=0.05$. Sử dụng phép kết nhập có trọng số, kết nhập các giá trị đầu vào theo $\text{Input_NEW_HAC} = w_1 * E + w_2 * DE + w_3 * IE$ ta có bảng SAM2 như bảng 3.4.

Bảng 3.4. Bảng SAM2 gồm 27 luật sử dụng phép kết nhập

Rule	Input_ NEW_HAC	Output_ NEW_HAC	14	0.527585	0.625
1	0.225735	0.125	15	0.62996	0.875
2	0.328065	0.125	16	0.400735	0.375
3	0.35565	0.125	17	0.503065	0.5
4	0.383235	0.375	18	0.53065	0.625
5	0.48561	0.5	19	0.558235	0.875
6	0.339435	0.125	20	0.66061	0.875
7	0.441765	0.125	21	0.514485	0.5
8	0.46935	0.375	22	0.616815	0.625
9	0.496935	0.5	23	0.6444	0.875
10	0.59931	0.625	24	0.671985	0.875
11	0.370085	0.125	25	0.77436	0.875
12	0.472415	0.375	26	0.50875	0.625
13	0.5	0.5	27	0.49125	0.375

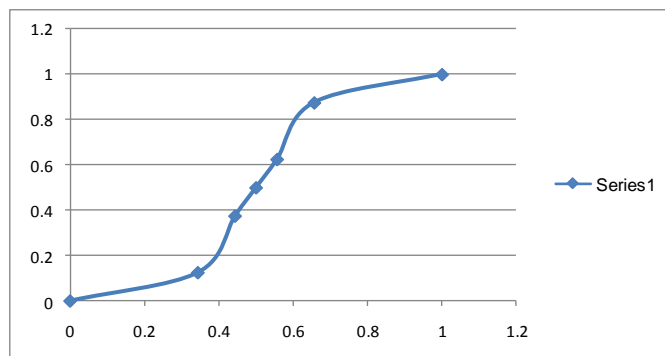
- Sử dụng phép tính trung bình cho mỗi khoảng định lượng ngữ nghĩa theo $(\sum_{i=1}^n \text{Input_NEW_HAC}_i) / n$ với n là số luật có cùng đầu ra U (Output_NEW_HAC). Lúc này còn 5 giá trị định lượng Input_NEW_HAC tương ứng với 5 giá trị định lượng Output_NEW_HAC. Bổ sung thêm 2 phần tử trong HA mang ý nghĩa “tuyệt đối” với giá trị là 0 và 1, ta được bảng SAM3 như bảng 3.5 gồm 7 luật

Bảng 3.5. Bảng SAM3 gồm 7 luật

Rule	Input_NEW_HAC	Output_NEW_HAC
28	0	0
1,2,3,6,7,11	0.343455833	0.125
4,8,12,16,27	0.443397	0.375
5,9,13,17,21	0.5	0.5
10,14,18,22,26	0.556622	0.625
15,19,20,23,24,25	0.656591667	0.875
29	1	1

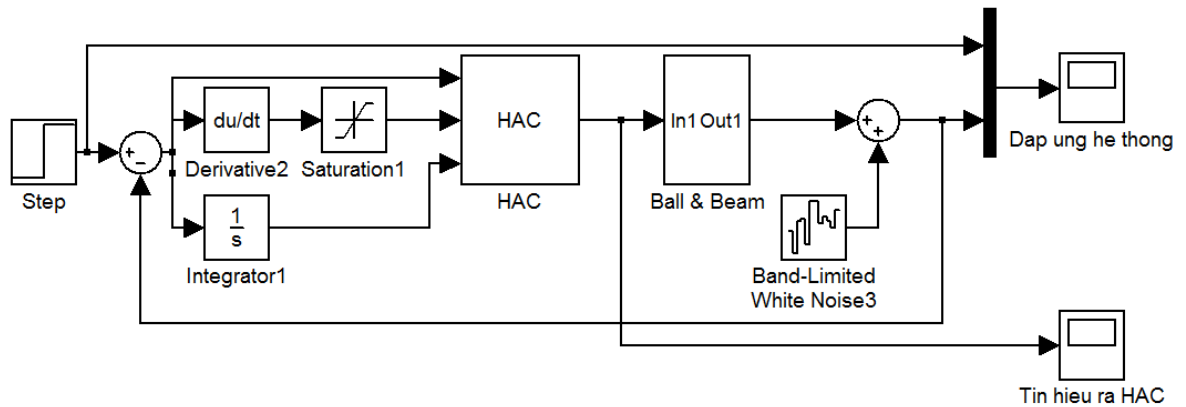
Bước 3:

- Đường cong ngữ nghĩa định lượng biểu diễn mối quan hệ vào - ra được thể hiện trên hình 3.6

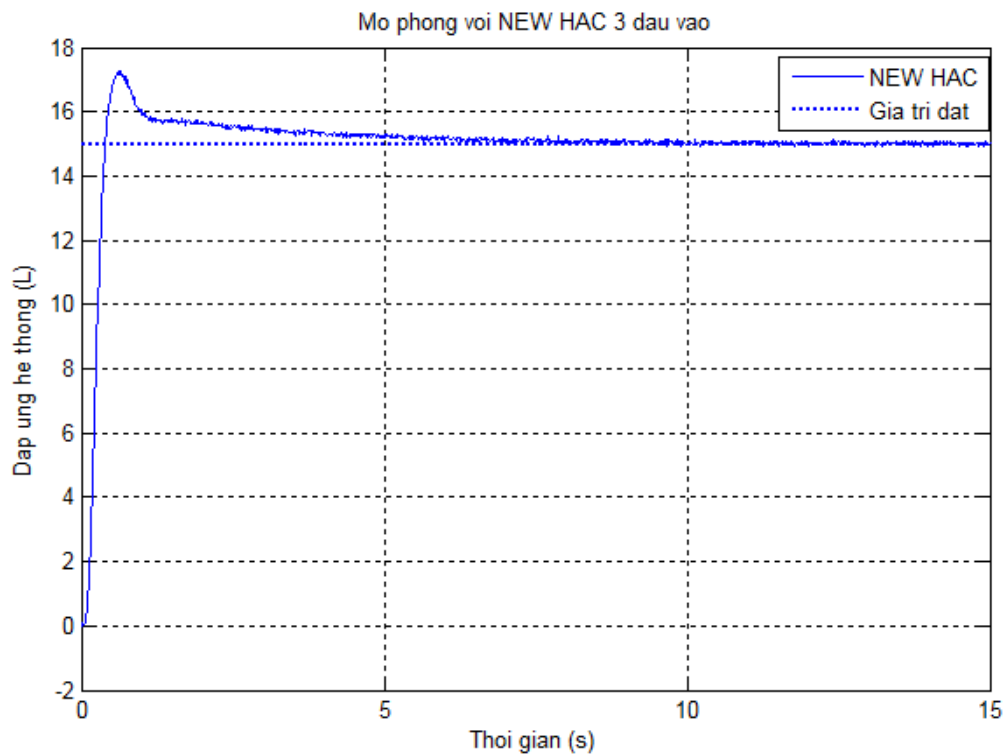


Hình 3.6. Đường cong ngữ nghĩa định lượng NEW_HAC

- Mô phỏng trên Simulink NEW_HAC cải tiến với sơ đồ mô phỏng hình 3.7 và kết quả mô phỏng như hình 3.8.



Hình 3.7. Mô phỏng hệ với NEW_HAC cải tiến



Hình 3.8. Đáp ứng hệ với NEW_HAC cải tiến

Nhận xét:

- Hệ thống Ball and Beam là hệ thống phi tuyến nên Ball không đứng yên trên một vị trí cố định trên Beam và luôn dao động quanh vị trí cân bằng. Kết quả mô phỏng cho thấy NEW_HAC đáp ứng được yêu cầu chất lượng hệ thống với thời gian xác lập khoảng 8.5s và độ quá điều chỉnh 15%.

- Đã cải tiến và thiết kế được NEW_HAC đáp ứng yêu cầu công nghệ, mở ra khả năng áp dụng NEW_HAC cải tiến cho các đối tượng công nghiệp nói chung và đối tượng phi tuyến nói riêng.

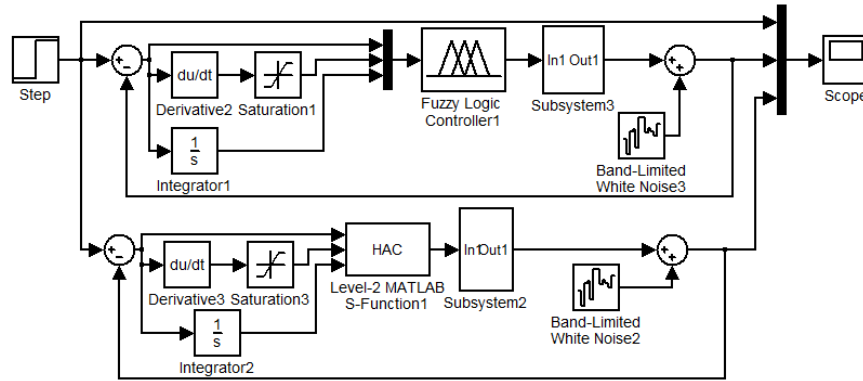
3.3.2.2. Mở rộng đề xuất

Các tác giả trong [25] đã giảm được từ 75 luật điều khiển xuống còn 27 tập luật điều khiển mờ. Trong khi đó, NEW_HAC cải tiến đã giảm xuống còn 7 luật điều khiển từ 27 tập luật. Vì vậy, tác giả đưa ra ý tưởng giản lược số luật điều khiển cho bộ điều khiển mờ (từ 27 luật điều khiển xuống còn 7 luật điều khiển tương đương 7 luật của NEW_HAC) để kiểm tra tính đúng đắn của NEW_HAC.

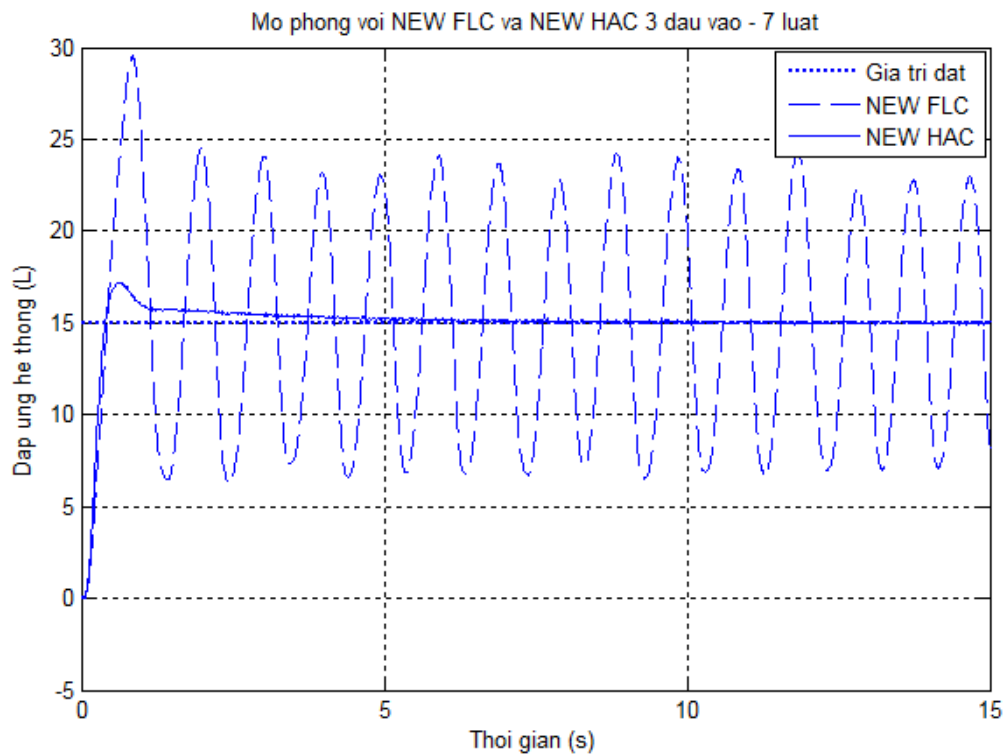
Từ 7 tập luật của NEW_HAC, quay trở lại bảng 27 tập luật điều khiển, đối chiếu ánh xạ được 7 luật theo nhãn ngôn ngữ HA tương đương 7 luật trong điều khiển mờ như hệ (3.8):

$$\begin{aligned}
 &\text{if } E = \text{LN and } DE = \text{VN and } IE = \text{W then } U = \text{VN (Rule 6)} \\
 &\text{if } E = \text{LN and } DE = \text{W and } IE = \text{W then } U = \text{LN (Rule 8)} \\
 &\text{if } E = \text{LP and } DE = \text{LN and } IE = \text{W then } U = \text{W (Rule 17)} \\
 &\text{if } E = \text{LP and } DE = \text{W and } IE = \text{W then } U = \text{LP (Rule 18)} \\
 &\text{if } E = \text{LP and } DE = \text{VP and } IE = \text{W then } U = \text{VP (Rule 20)} \\
 &\text{if } E = \text{W and } DE = \text{W and } IE = \text{P then } U = \text{LP (Rule 26)} \\
 &\text{if } E = \text{W and } DE = \text{W and } IE = \text{N then } U = \text{LN (Rule 27)}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Thiết kế bộ điều khiển mờ mới (NEW_FLC) với 3 đầu vào, 7 tập luật điều khiển theo (3.8) và mô phỏng cùng với NEW_HAC như hình 3.9.



Hình 3.9 Mô phỏng hệ thống với NEW_FLC và NEW_HAC



Hình 3.10 Kết quả với NEW_FLC và NEW_HAC

Nhận xét:

- Với cùng 27 tập luật thì FLC [25] và HAC đều cho chất lượng điều khiển rất tốt. Tuy nhiên, với NEW_HAC cải tiến, có thể tiếp tục giảm số luật xuống còn 7 tập luật vẫn đảm bảo chất lượng hệ thống.

- Với 7 tập luật NEW_HAC cải tiến, ánh xạ lại được 7 tập luật mờ tương đương (3.8) và thiết kế bộ điều khiển NEW_FLC tương ứng. Kết quả

mô phỏng cho thấy NEW_HAC cải tiến vẫn đảm bảo chất lượng trong khi NEW_FLC không thể điều khiển được nữa.

3.3.2.3. Nhận xét chung

- Đối với lý thuyết đại số gia tử, thiết kế bộ điều khiển bằng việc bổ sung đầu vào thứ ba và giản lược số luật điều khiển ở đây là một bài toán mới. Việc tăng thêm đầu vào thứ 3 đã làm tăng thông tin về không gian pha của sai lệch, hơn nữa sẽ thay đổi quan hệ giữa các luật đã có và tạo ra khả năng hình thành các tổ hợp luật có phần “if” khác nhau nhưng phần “then” giống nhau, vì vậy có thể giảm được luật theo cách những tổ hợp luật có tính chất nêu trên được thay bằng một luật đại diện. Đáp ứng đầu ra tốt hơn do chọn đúng luật đại diện và phép kết nhập làm cho quá trình suy diễn hợp lý hơn. Từ đây trợ giúp cho bộ điều khiển giảm được khối lượng tính toán để có được giá trị điều khiển cụ thể nhanh hơn và chính xác hơn mà không làm tăng độ phức tạp của đường cong ngữ nghĩa.

- Kết quả mô phỏng NEW_HAC cải tiến cho thấy hệ thống vẫn đảm bảo chất lượng trong khi việc thiết kế đã đơn giản hơn rất nhiều. Điều này chứng tỏ tính đúng đắn của NEW_HAC cải tiến bằng việc bổ sung thêm thông tin cho hệ thống khi có thêm đầu vào mà không làm tăng tính phi tuyến và phức tạp hóa quá trình thiết kế. Việc thiết kế đã giảm độ phức tạp của thuật toán, giảm khối lượng tính toán dẫn đến giảm thời gian tính toán cho vi xử lý (bộ điều khiển) được lựa chọn thực tế.

3.3.3. Áp dụng phương pháp tự động xác định tham số cho NEW_HAC

a. Thuật toán sử dụng GA

Theo các bước của thuật toán tìm tham số HAC bằng GA, ta có thể xây dựng chương trình thực hiện như mô tả dưới đây. Trước tiên ta gọi P là quần thể cần duy trì, Q là quần thể được tạo ra sau khi lai ghép và R là quần thể được tạo ra sau khi đột biến.

Thuật toán NEW_HAC_GA(PAR, f) - NEW_HAC with Genetic Algorithm

Inputs:

- Bảng SAM bao gồm các luật trong đó mỗi giá trị biến ngôn ngữ tương ứng với một giá trị định lượng ngữ nghĩa của HA.
- f là hàm thích nghi được xác định theo tiêu chuẩn g kết hợp với SAM.

Outputs: Bộ tham số NEW_HAC($teta$, $anpha_in$, $anpha_out$, w_1 , w_2)

Actions:

Đặt $t := 0$; Khởi tạo $P(t)$; */* $P(t)$: Quần thể ở thế hệ thứ t */*

Tính độ thích nghi của các cá thể thuộc $P(t)$;

While ($t \leq T$) do

$t := t + 1$;

Lai ghép $Q(t)$ từ $P(t - 1)$; */* $Q(t)$ được tạo ra từ $P(t - 1)$ */*

Đột biến $R(t)$ từ $P(t - 1)$; */* $R(t)$ được tạo ra từ $P(t - 1)$ */*

Chọn lọc $P(t)$ từ $P(t - 1) \cup Q(t) \cup R(t)$ theo hàm thích nghi f ;

EndWhile.

Return Cá thể có giá trị thích nghi nhất trong $P(t)$;

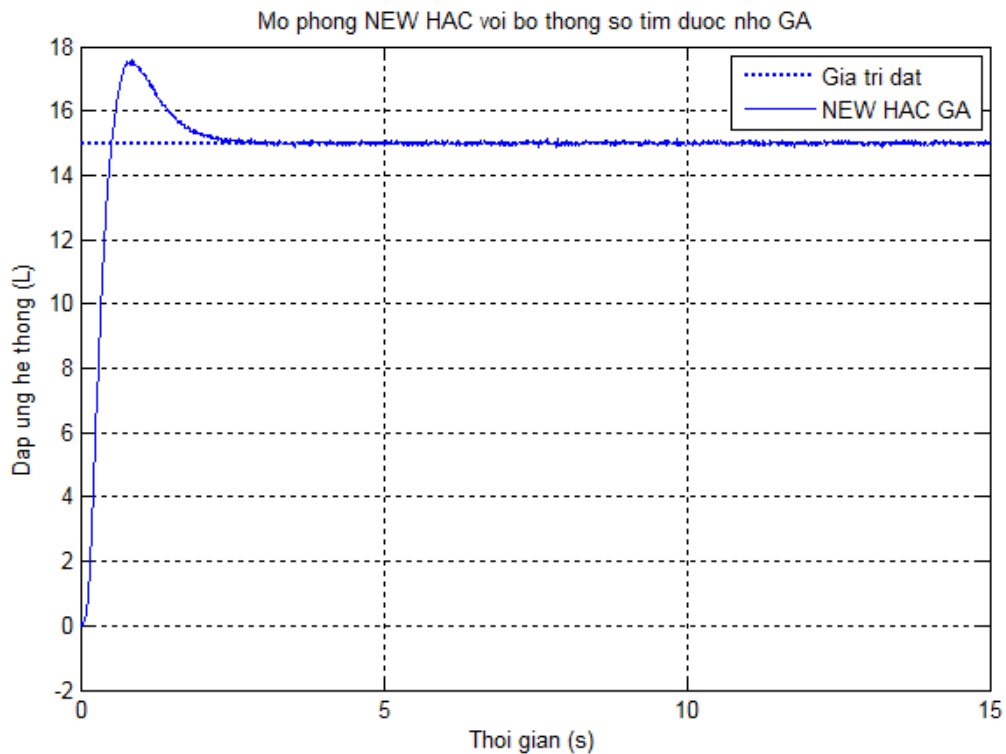
End of NEW_HAC.

b. Kết quả chương trình

Chạy chương trình, kết quả tìm được bộ tham số:

$g(teta, anpha_in, anpha_out, w_1, w_2) = (0.5575, 0.3701, 0.5135, 0.405, 0.4316)$.

Mô phỏng bằng Simulink với bộ tham số trên, kết quả thể hiện ở hình 3.11.



Hình 3.11. Đáp ứng hệ thống đối với bộ tham số GA

Nhận xét

- So với NEW_HAC (có bộ thông số xác định bằng định tính - mục 3.3.2), kết quả mô phỏng cho thấy NEW_HAC_GA đã đáp ứng tốt hơn với thời gian đáp ứng khoảng 3.5s, độ quá điều chỉnh 15.2%.

- Kết quả mô phỏng đã khẳng định tính đúng đắn của phương pháp tự động tìm bộ tham số HAC sử dụng GA. Kết quả của phương pháp đã tự động tìm được bộ tham số cho NEW_HAC, tối ưu hóa được quá trình thiết kế NEW_HAC.

- Đã có một số nghiên cứu xác định các tham số tối ưu cho HAC, tuy nhiên kết quả thu được rất hạn chế vì bài toán phụ thuộc rất nhiều yếu tố và thông thường hay rơi vào các trường hợp cực trị địa phương. Với phương pháp trong luận án, có thể sử dụng GA để tìm ra các tham số thích hợp nhất cho việc thực hiện toàn bộ phương pháp (cực trị toàn cục).

3.4. Kết luận chương 3

Với kết quả nghiên cứu một cách hệ thống về việc sử dụng được HA trong lĩnh vực điều khiển ở chương 2, tác giả đã đề xuất và cải tiến HAC đạt được các kết quả sau:

- Nâng cao chất lượng HAC bằng việc bổ sung thêm một đầu vào thứ 3 cho bộ điều khiển đồng thời giảm số lượng các luật điều khiển. Việc cung cấp thêm thông tin đầu vào cho bộ điều khiển đã giúp giảm lược được số giá trị ngôn ngữ và tập luật điều khiển mà không làm thay đổi đáng kể độ chính xác quan hệ vào ra của bộ điều khiển. Việc thiết kế đã giảm bớt được lượng thông tin thừa dẫn đến khối lượng tính toán giảm đi khá nhiều sẽ giúp vi xử lý (bộ điều khiển) được lựa chọn thực tế giảm được thời gian tính toán và đáp ứng nhanh nhạy hơn với những thay đổi của hệ thống.

- Tối ưu hóa quá trình thiết kế HAC theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch (có tính đến ảnh hưởng của tốc độ biến thiên sai lệch $e(t)$ lên chất lượng quá trình quá độ) bằng việc sử dụng giải thuật di truyền. Kết quả đã xây dựng được phương pháp tự động xác định bộ tham số cho HAC.

- Kết quả đạt được bằng lập trình mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng đã chứng minh tính đúng đắn của hướng nghiên cứu, mở ra khả năng ứng dụng bộ điều khiển sử dụng HA cho các đối tượng công nghiệp. Tác giả sẽ tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể để kiểm nghiệm lý thuyết xây dựng được.

CHƯƠNG 4

THỰC NGHIỆM

Tóm tắt chương 4

- Kiểm nghiệm nội dung nghiên cứu trong chương 2 (ứng dụng được bộ điều khiển sử dụng HA cho một số đối tượng khó điều khiển trong công nghiệp): thí nghiệm với mô hình hệ thống truyền động bám chính xác.

- Kiểm nghiệm nội dung nghiên cứu trong chương 3 (ứng dụng bộ điều khiển sử dụng HA cải tiến cho đối tượng phi tuyến): thí nghiệm với hệ thống Ball and Beam.

4.1. Thí nghiệm với hệ thống truyền động bám chính xác

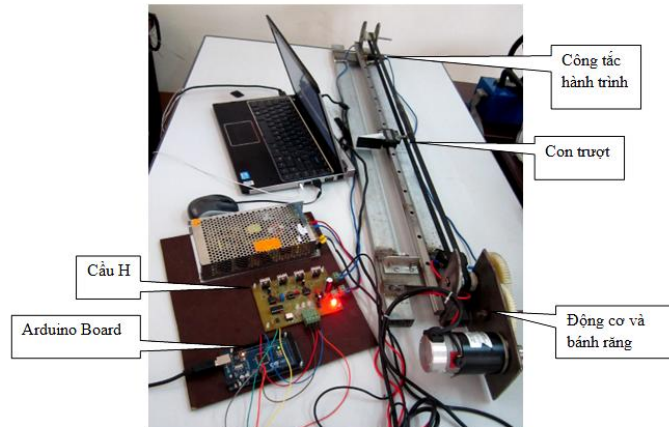
4.1.1. Giới thiệu mô hình hệ thống thí nghiệm

Mô hình hệ thống truyền động bám chính xác (được xây dựng dựa theo kết cấu và nguyên lý của MEDE5 [26]) ở phòng thí nghiệm Điện - Điện tử - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp được dùng để nghiên cứu và thử nghiệm các phương pháp điều khiển mới. Việc điều khiển chuyển động bám chính xác cho hệ thống trên được thực hiện qua điều khiển động cơ servo. Khi có sự sai lệch, tín hiệu vị trí từ encoder sẽ được gửi về và được so sánh với giá trị đặt của hệ thống, từ đó bộ điều khiển sẽ gửi tín hiệu để điều khiển động cơ sao cho tín hiệu ra bám chặt theo tín hiệu đặt.

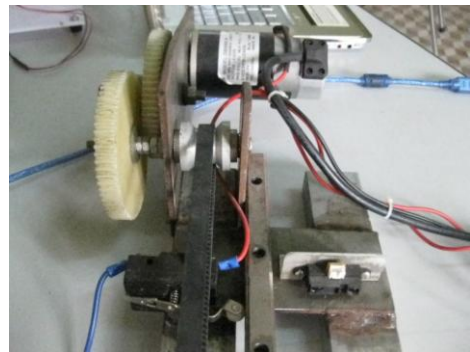
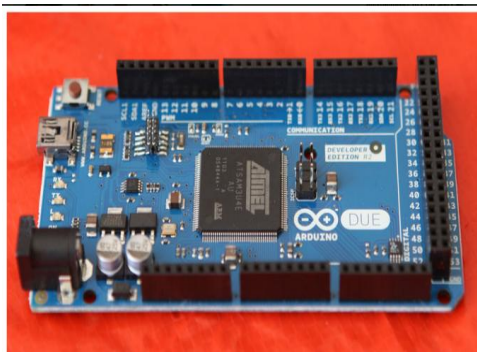
Mô hình hệ thống (hình 4.1) gồm các thành phần:

- Arduino board (hình 4.2): nhận tín hiệu phản hồi từ sensor vị trí (Encoder) và giao tiếp với máy tính, xuất tín hiệu ra mạch công suất (cầu H) để điều khiển động cơ. Arduino là một bo mạch vi xử lý dùng để lập trình và tương tác với các thiết bị phần cứng như cảm biến, động cơ và một số thiết bị khác. Arduino được chọn làm bộ não xử lý của rất nhiều các thiết bị từ đơn giản đến

phức tạp vì có nhiều ưu điểm như dễ sử dụng, ngôn ngữ lập trình đơn giản, mức giá rất thấp và tính chất nguồn mở cho cả phần cứng, phần mềm. Với Arduino, dễ dàng kiểm nghiệm các thuật toán điều khiển trong thực tế vì nó kết hợp được với các phần mềm chuyên dụng như Matlab, Labview, ...



Hình 4.1. Mô hình thí nghiệm hệ thống truyền động bám chính xác

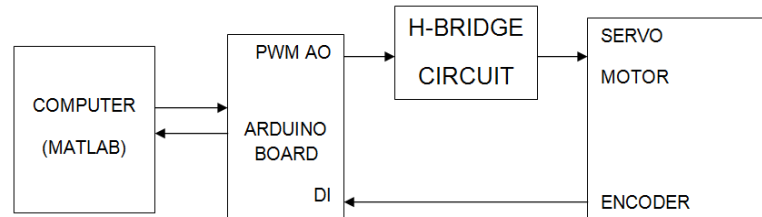


Hình 4.2. Arduino Board Hình 4.3. Động cơ servo và cơ cấu bánh răng

- Động cơ servo và cơ cấu bánh răng (hình 4.3) dùng để truyền động hệ thống là động cơ servo DB M60-8 có các thông số: điện áp 24 V, công suất 60W, tốc độ 3000 vòng/phút, Encoder 1000 xung/vòng.
- Mạch cầu H (H-Bridge Circuit): điều khiển MOSFET công suất, cho phép đảo chiều, chống trùng dẫn, dòng cho phép 10A.
- Công tắc hành trình LXW5-11G1 dùng để giới hạn hành trình chuyển động của con trượt.

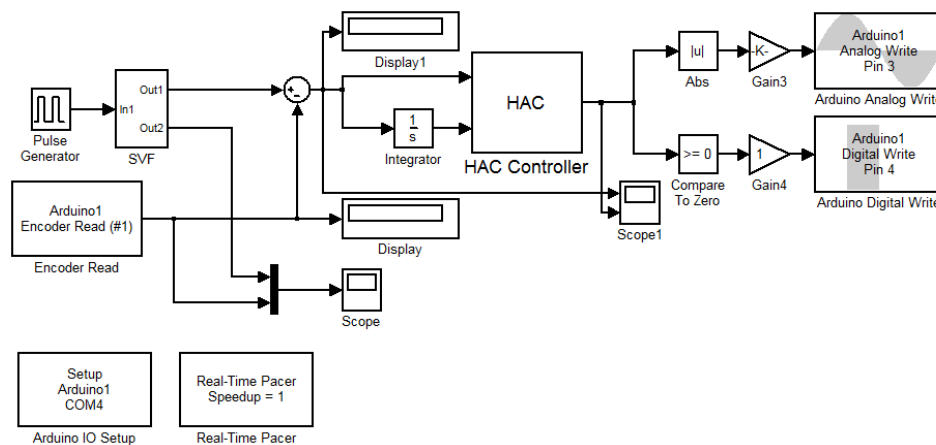
4.1.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển với HAC

Bài toán điều khiển ở đây là điều khiển chuyển động đến một vị trí chính xác theo giá trị đặt với yêu cầu đảo chiều liên tục đòi hỏi bộ điều khiển phải tác động nhanh, loại bỏ được nhiễu ma sát sao cho quá trình gia tốc, giảm tốc của con trượt êm hơn. Cấu trúc điều khiển hệ thống như hình 4.4



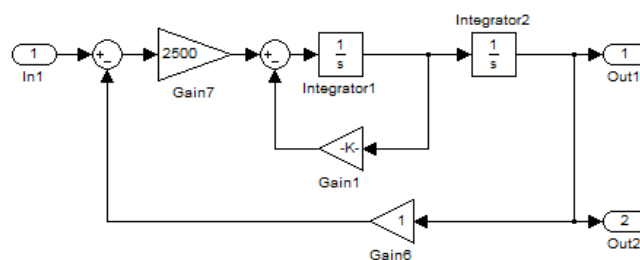
Hình 4.4. Cấu trúc điều khiển hệ thống truyền động bám chính xác

HAC được thiết kế trên nền Matlab/Simulink và thực hiện kết nối với hệ thống thông qua Arduino board có giao diện như hình 4.5.



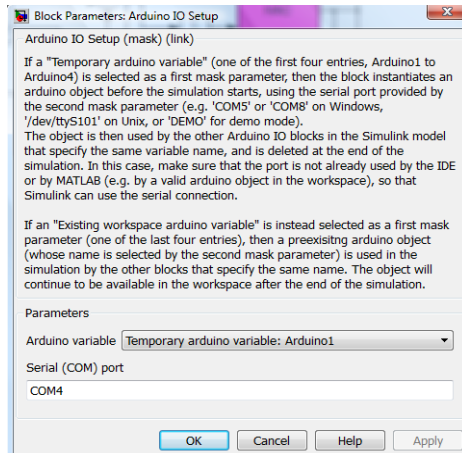
Hình 4.5. Giao diện thí nghiệm hệ truyền động bám chính xác

- Khâu lọc biến trạng thái SVF - State Variable Function (hình 4.6)

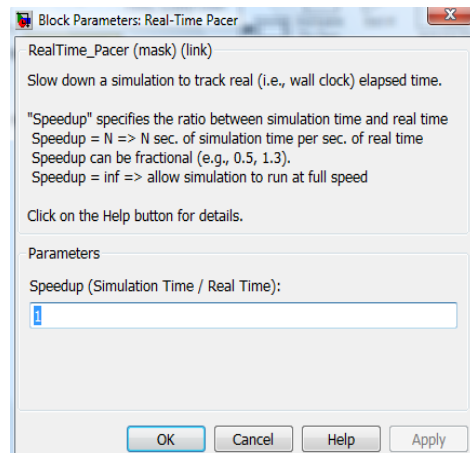


Hình 4.6. State Variable Function

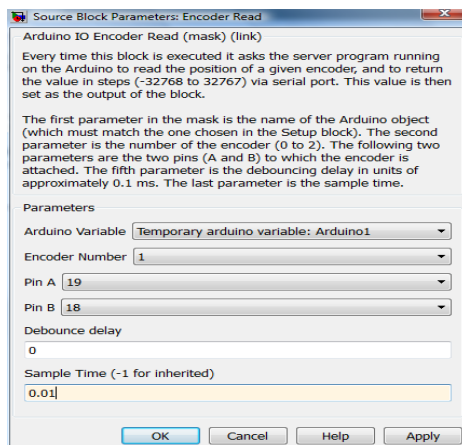
- Các khối chức năng trong Arduino board:



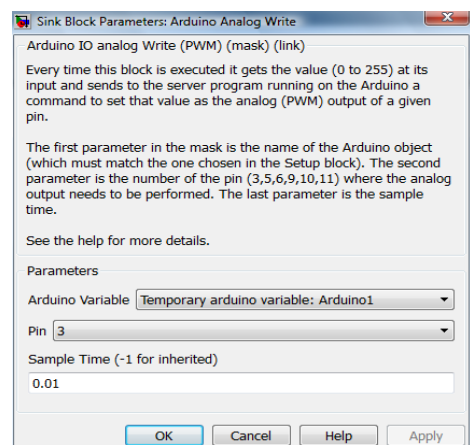
Hình 4.7. Arduino IO setup
(Khối kết nối vào/ra)



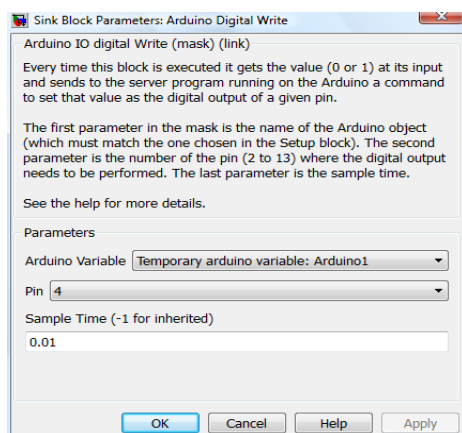
Hình 4.8. Real-Time Pacer
(Khối thiết lập thời gian thực)



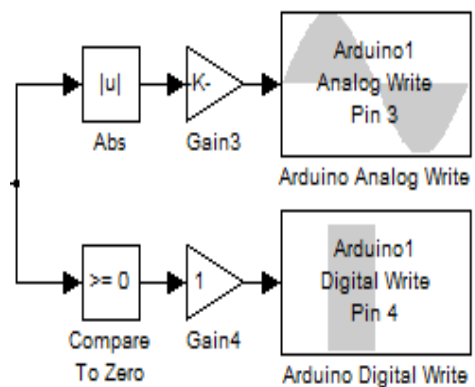
Hình 4.9. Encoder read
(Khối đọc tín hiệu encoder)



Hình 4.10. Arduino analog write
(Khối vào/ra tương tự - PWM)

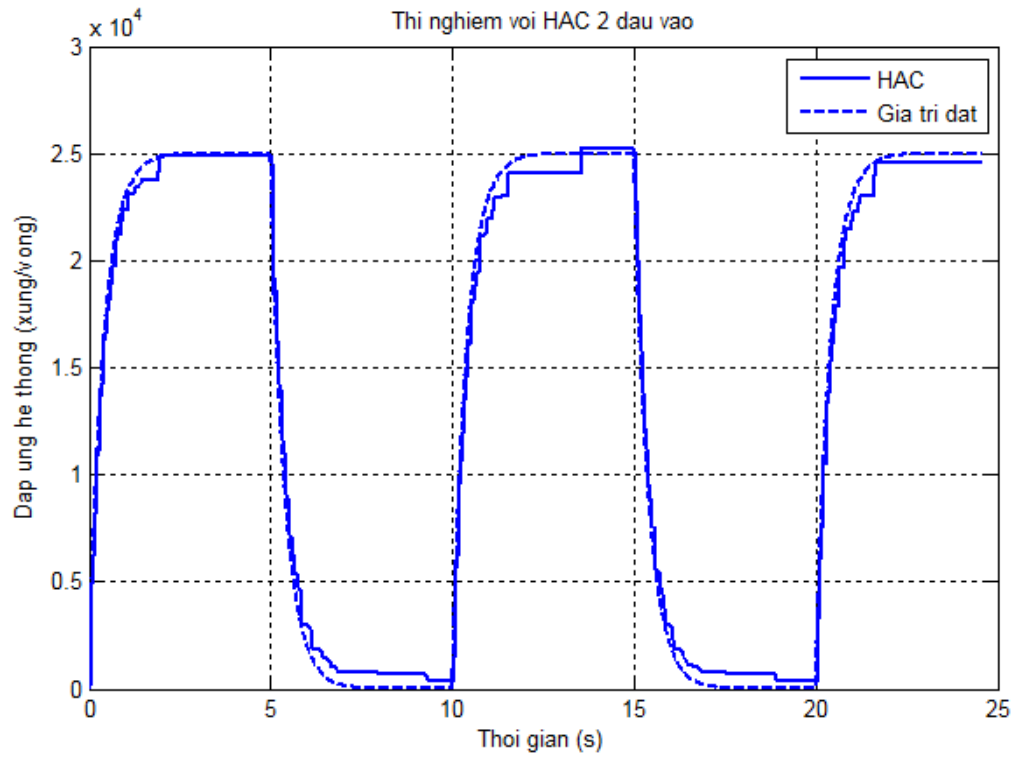


Hình 4.11. Arduino digital write
(Khối vào/ra số)

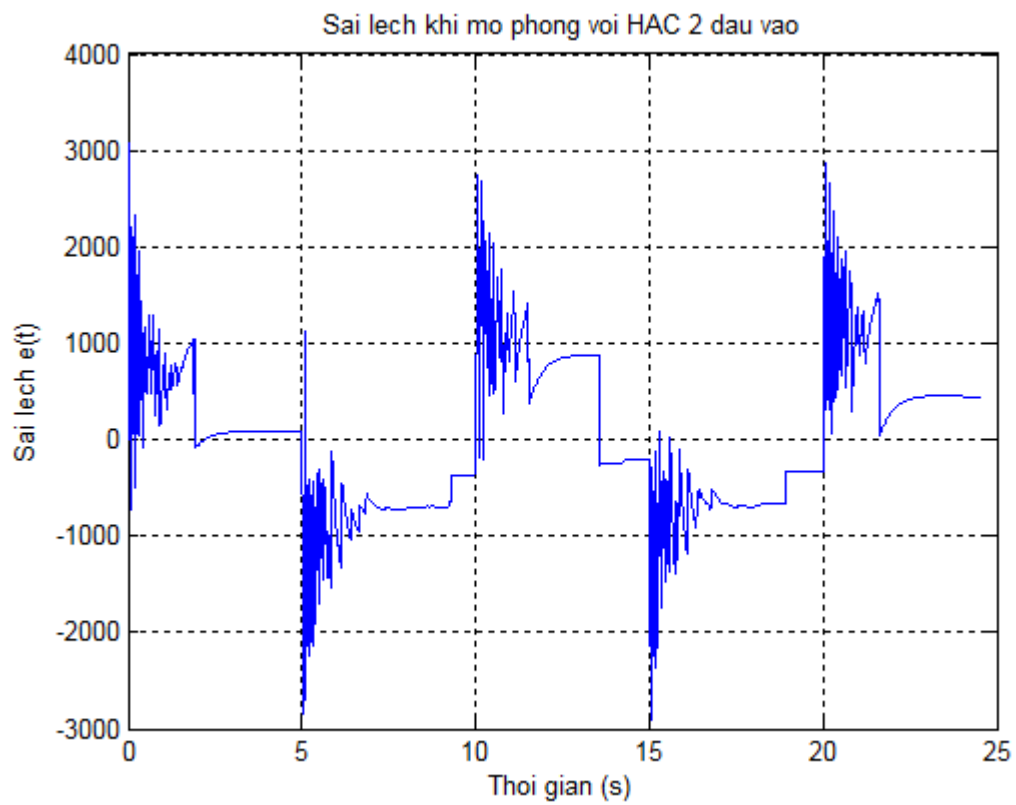


Hình 4.12. Điều khiển đảo chiều

4.1.3. Kết quả thí nghiệm



Hình 4.13. Đáp ứng hệ thống với HAC 2 đầu vào



Hình 4.14. Sai lệch $e(t)$

Nhận xét:

- Hệ thống sử dụng động cơ servo có tốc độ 3000 vòng/phút, tín hiệu ra Encoder là 1000 xung/vòng. Kết quả thí nghiệm trên là tín hiệu nhận được từ encoder nên giá trị vật lý của đại lượng đầu ra có đơn vị là xung/vòng với giá trị đặt cho hệ thống tương đương là 25000 xung. Với các tác động nhiễu trong suốt quá trình làm việc (nhiều ma sát trong quá trình gia tốc, giảm tốc của con trượt, ...) thì HAC đáp ứng được tác động của nhiễu với thời gian xác lập khoảng 4.5s, độ quá điều chỉnh và sai lệch tĩnh rất nhỏ.

- Kết quả thí nghiệm cho thấy tín hiệu ra hệ thống ổn định, bám được theo giá trị đặt với sai lệch nhỏ không đáng kể (Kết quả mô phỏng không có sai lệch tĩnh do không xét đến nhiễu ma sát, ...).

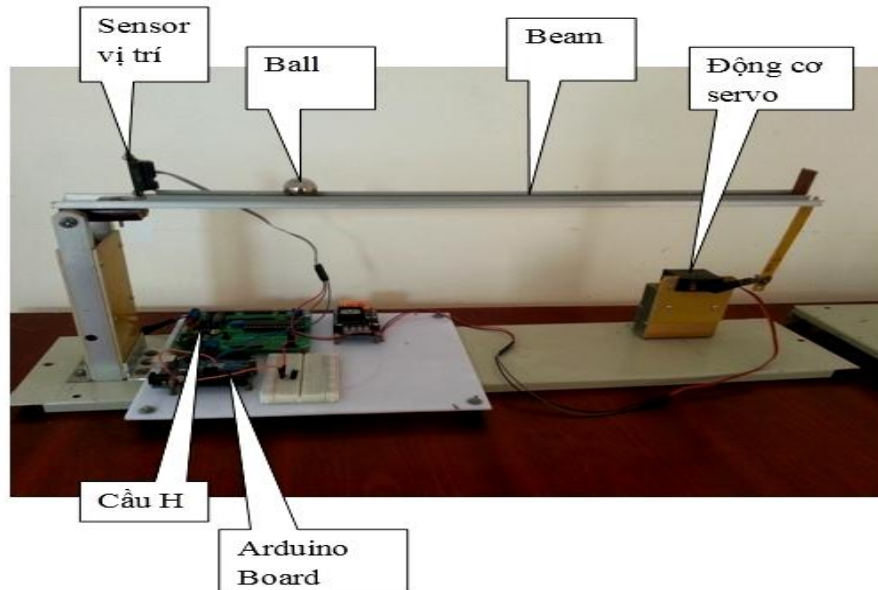
- Từ thực nghiệm cho thấy bộ điều khiển sử dụng HA áp dụng được trong hệ thống điều khiển chuyển động theo một quỹ đạo mẫu với yêu cầu tác động nhanh, đảo chiều liên tục, chịu tác động nhiễu trong quá trình làm việc nên có thể ứng dụng được trong lĩnh vực điều khiển cho một số đối tượng công nghiệp, đảm bảo chất lượng hệ thống đạt yêu cầu.

4.2. Thí nghiệm với hệ thống Ball and Beam**4.2.1. Giới thiệu mô hình hệ thống thí nghiệm**

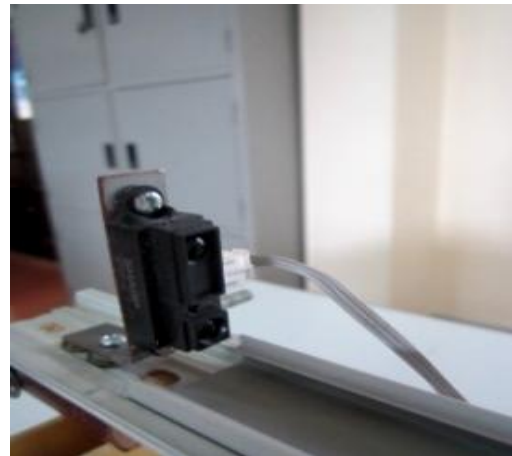
Mô hình hệ thống Ball and Beam ở phòng thí nghiệm Điện - Điện tử - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp được dùng để nghiên cứu và thử nghiệm các phương pháp điều khiển mới. Bằng cách sử dụng sensor vị trí, thông tin về vị trí của quả bóng được gửi về và được so sánh với giá trị đặt vào trong bộ điều khiển, từ đó bộ điều khiển sẽ gửi tín hiệu để điều khiển góc quay của động cơ sao cho quả bóng sẽ đạt đúng vị trí mong muốn trên thanh đỡ. Trong mô hình thực tế này, có nhiều thành phần nhiễu tác động lên hệ thống Ball and Beam gây khó khăn cho việc thiết kế bộ điều khiển.

Hệ thống Ball and Beam (hình 4.15) gồm các thành phần:

- Động cơ truyền động (hình 4.16) là động cơ servo một chiều Tower Pro MG995 (hình 4.17) có các thông số: điện áp [3.0V-7.2V], tốc độ 60/0.17 (rad/sec) tương ứng 4.8V và 60/0.13 (rad/sec) tương ứng 6.0V.
- Sensor vị trí SHARP GP2D12 (hình 4.17) dùng để phát hiện vị trí bóng trên thanh và gửi tín hiệu về bộ điều khiển.



Hình 4.15. Mô hình thí nghiệm hệ thống Ball and Beam



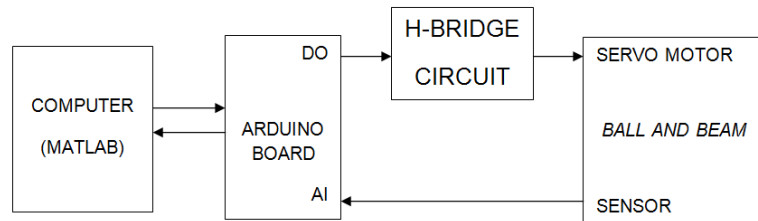
Hình 4.16. Động cơ Servo truyền động Hình 4.17. Sensor vị trí GP2D12

- Mạch cầu H (H-Bridge Circuit): điều khiển MOSFET công suất, cho phép đảo chiều, chống trùng dẫn, dòng cho phép 10A, thực hiện nhiệm vụ đảo chiều động cơ.

- Arduino board: nhận tín hiệu phản hồi từ sensor vị trí (GP2D12) và giao tiếp với máy tính, xuất tín hiệu ra mạch công suất (cầu H) để điều khiển động cơ.

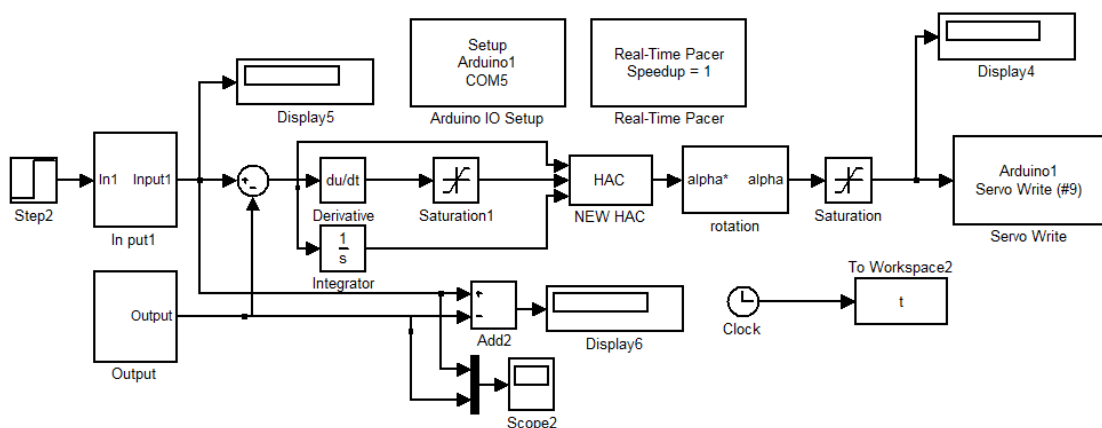
4.2.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển với NEW_HAC_GA

Bài toán điều khiển ở đây là kiểm soát được vị trí của quả bóng trên thanh đỡ. Bằng cách sử dụng sensor vị trí GP2D12, thông tin về vị trí của quả bóng được gửi về và được so sánh với giá trị đặt, tín hiệu sai lệch sẽ được đưa đến bộ điều khiển, từ đó bộ điều khiển sẽ gửi tín hiệu để điều khiển góc quay của động cơ một chiều Tower Pro MG995. Cấu trúc điều khiển hệ thống như hình 4.18.



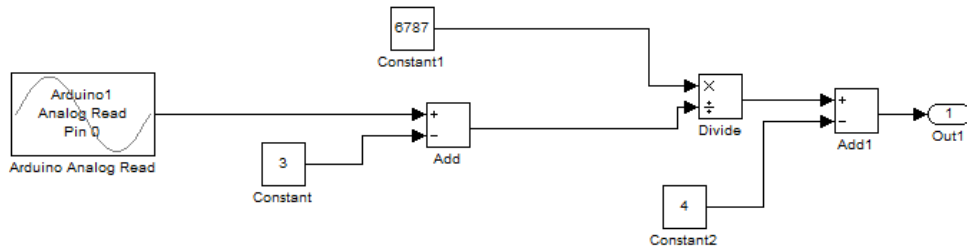
Hình 4.18. Cấu trúc hệ thống điều khiển Ball and Beam

NEW_HAC_GA được thiết kế trên nền Matlab/Simulink và thực hiện kết nối với hệ thống thông qua Arduino board có giao diện như hình 4.19.



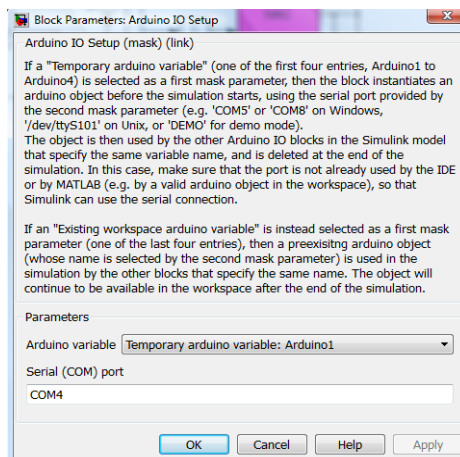
Hình 4.19. Giao diện thí nghiệm hệ Ball and Beam

- Khâu đọc tín hiệu phản hồi vị trí bóng (Ball position)

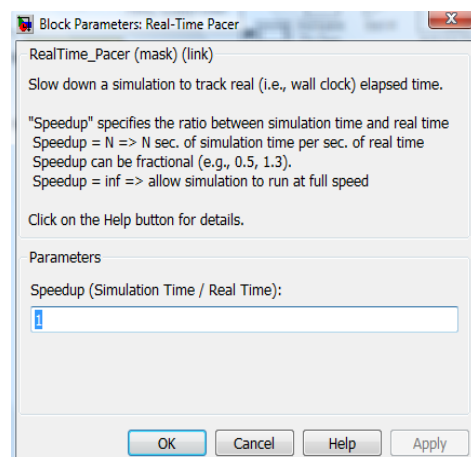


Hình 4.20. Khâu đọc tín hiệu phản hồi vị trí bóng (Ball position)

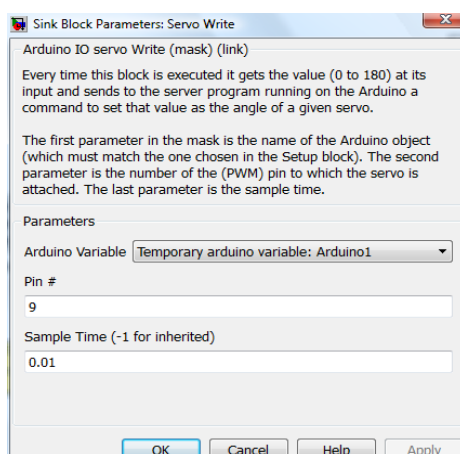
- Các khối chức năng trong Arduino board:



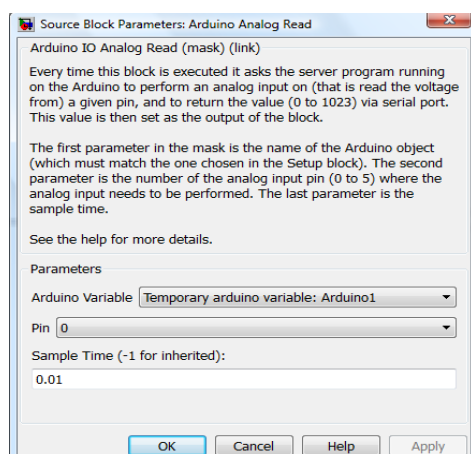
Hình 4.21. Arduino IO setup
(Khối kết nối vào/ra)



Hình 4.22. Real-Time Pacer
(Khối thiết lập thời gian thực)

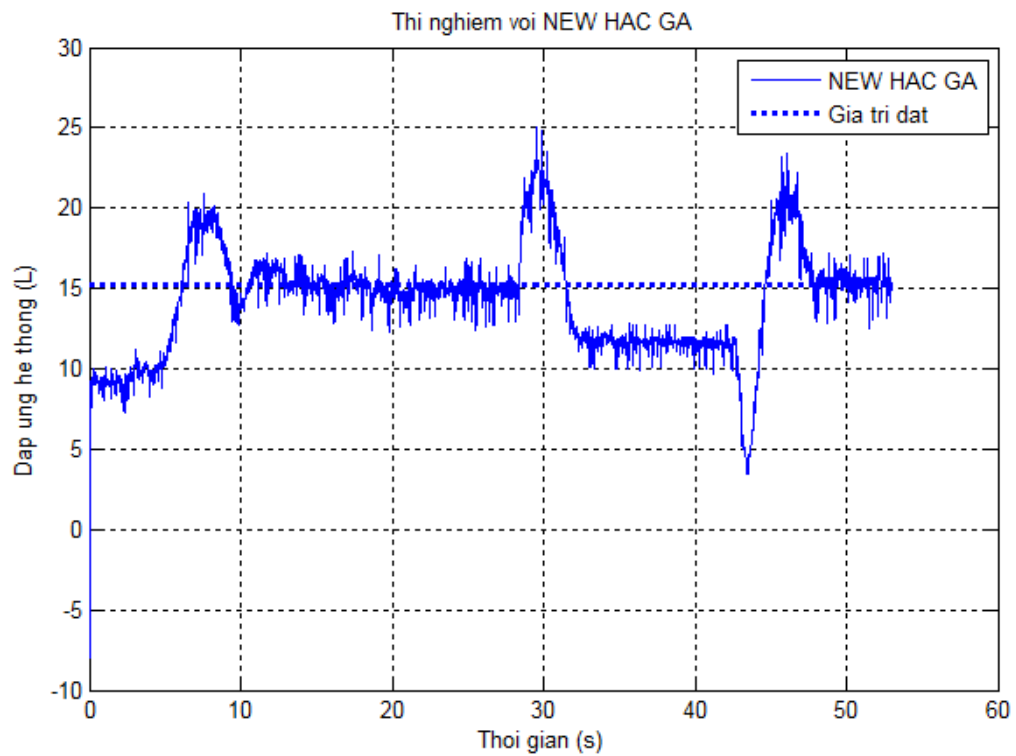


Hình 4.23. Servo write (Khối cấu
hình điều khiển động cơ servo)

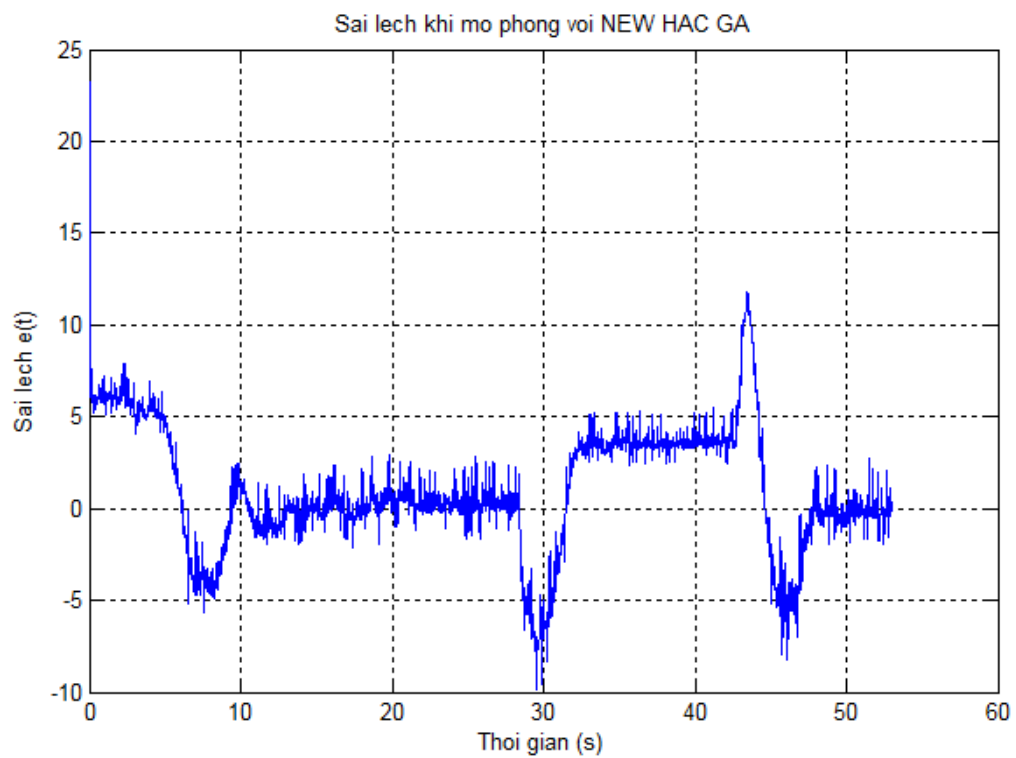


Hình 4.24. Arduino analog read
(Khối đọc tín hiệu analog)

4.2.3. Kết quả thí nghiệm



Hình 4.25. Đáp ứng của hệ khi sử dụng NEW_HAC_GA



Hình 4.26. Sai lệch $e(t)$

Nhận xét:

- Kết quả thí nghiệm cho thấy, trong khoảng thời gian [0 - 28s], NEW_HAC_GA đáp ứng được các chỉ tiêu về chất lượng với thời gian đáp ứng khoảng 13.5s, độ quá điều chỉnh 20%. Trong khoảng thời gian [28 - 53]s, khi có tác động ngoài (nhiều phụ tải 45%), bộ điều khiển vẫn đáp ứng được với thời gian đáp ứng khoảng 20s.

- So với kết quả mô phỏng thì kết quả thí nghiệm (xét trong khoảng thời gian [0 - 28s]) không tốt bằng, tồn tại sai lệch và nhiễu. Các chỉ tiêu trong quá trình mô phỏng tốt hơn với thời gian xác lập nhanh, độ quá điều chỉnh nhỏ do chưa tính đến đến các thành phần nhiễu trong quá trình làm việc thực tế. Tuy nhiên NEW_HAC_GA vẫn đáp ứng được các chỉ tiêu chất lượng mà hệ thống thực yêu cầu. Nguyên nhân tồn tại nhiễu và sai lệch trên là do:

+ Đối với hệ thống thực, do có nhiều thành phần nhiễu trong quá trình làm việc (nhiều do động cơ, nhiễu do ma sát, ...) nên Ball không đứng yên trên một vị trí cố định trên Beam và luôn dao động quanh vị trí cân bằng.

+ Kết quả thí nghiệm vẫn tồn tại thành phần nhiễu do các khâu đo lường và truyền tín hiệu. Nếu thiết kế thêm bộ lọc sẽ khắc phục và xử lý được thành phần nhiễu tồn tại trên cho hệ thống. Tuy nhiên, vì mục tiêu chính của luận án là thí nghiệm chứng tỏ tính khả dụng của HAC trong thực tế nên vấn đề thiết kế bộ lọc cho HAC sẽ được đưa vào hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án.

- Kết quả thí nghiệm đã chứng minh tính đúng đắn của NEW_HAC cải tiến với bộ thông số tìm được một cách tự động. Việc thiết kế bộ điều khiển đã đơn giản hơn nhưng vẫn đảm bảo chất lượng hệ thống và đáp ứng được với những thay đổi của hệ thống. Từ thực nghiệm cho thấy NEW_HAC_GA mở ra khả năng ứng dụng được cho các đối tượng công nghiệp.

4.3. Kết luận chương 4

- Từ thực nghiệm cho thấy các bộ điều khiển sử dụng HA làm việc ổn định, có khả năng đáp ứng nhanh với những thay đổi của hệ thống và mở ra khả năng có thể ứng dụng điều khiển các đối tượng công nghiệp.

- Ta cũng cần phải khẳng định rằng, NEW_HAC cải tiến đã đáp ứng được yêu cầu đề ra với mục tiêu không làm thay đổi đáng kể độ chính xác của quan hệ vào ra, giảm độ phức tạp của thuật toán và giúp cho vi xử lí (bộ điều khiển) được lựa chọn giảm được thời gian tính toán.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Với mục tiêu ứng dụng được đại số gia tử trong lĩnh vực điều khiển và triển khai vào các hệ thống điều khiển trong công nghiệp, kết quả nghiên cứu của luận án đã có một số kết quả mới sau:

1. Thiết kế được bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử mở ra khả năng ứng dụng điều khiển các đối tượng trong công nghiệp. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng bằng lập trình mô phỏng trên máy tính và thực nghiệm trên mô hình vật lý của hệ thống phi tuyến cụ thể.

2. Nghiên cứu nâng cao chất lượng bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử bằng việc đơn giản hóa thuật toán điều khiển. Kết quả nghiên cứu thiết kế được bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử đã giảm độ phức tạp của thuật toán, giảm khối lượng tính toán dẫn đến giảm thời gian tính toán cho vi xử lý (bộ điều khiển) mà vẫn đảm bảo chất lượng điều khiển.

3. Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình thiết kế bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử bằng việc thiết kế theo tiêu chuẩn tích phân bình phương sai lệch sử dụng công cụ hỗ trợ là giải thuật di truyền. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được phương pháp tự động xác định các tham số cho bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử.

2. Kiến nghị

- Ứng dụng kết quả nghiên cứu vào giải quyết các bài toán điều khiển trong các lĩnh vực khác như nhận dạng, chẩn đoán, trong quá trình sản xuất thực tế...

- Triển khai bổ sung toolbox điều khiển sử dụng HA trong Matlab.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

Nước ngoài

1. Trung Kien Ngo, Duy Tien Nguyen, Tuan Quoc Duong, Huy Ngoc Vu, Tan Duc Vu (2013), “Using Hedge Algebra to Control varied parameter object”, *Lecture Notes in Electrical Engineering: Intelligent Technologies and Engineering Systems*, Springer New York, Vol. 234, pp. 429 - 436, ISBN: 978-1-4614-6746-5 (Print) 978-1-4614-6747-2 (Online).
2. Cong Nguyen Huu, Trung Ngo Kien, Duy Nguyen Tien, Ha Le Thi Thu (2010), “A research on parabolic trough solar collector system control based on hedge algebra”, *The 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision - ICARCV 2010*, pp. 715 -720.

Trong nước

3. Nguyen Huu Cong, Ngo Kien Trung, Nguyen Tien Duy (2014), “The study of improving the Hedge Algebra based Controller”, *Journal of Science and Technology (Technical Universities - Tạp chí khoa học & công nghệ các trường đại học kỹ thuật)*, Vol. 101, pp. 7 - 11.
4. Nguyễn Hữu Công, Ngô Kiên Trung, Nguyễn Tiến Duy (2014), “Nghiên cứu phương pháp thiết kế bộ điều khiển sử dụng ba đầu vào bằng logic mờ và đại số gia tử”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Viện hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam*, Số 52 (04), tr. 397 - 408.
5. Nguyễn Hữu Công, Ngô Kiên Trung, Nguyễn Tiến Duy, Nguyễn Phương Huy, Nguyễn Hồng Quang (2014), “Nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử cho một số đối tượng công nghiệp”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, Số 116 (02), tr. 123 - 128.

6. Ngô Kiên Trung, Dương Quốc Tuấn, Lê Văn Tùng (2012), “So sánh phương pháp thiết kế bộ điều khiển bằng logic mờ và đại số gia tử”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, Số 93 (05), tr. 35 - 39.
7. Ngô Kiên Trung (2011), “Nghiên cứu mô hình bộ điều khiển thông minh có sử dụng đại số gia tử để điều khiển đối tượng phi tuyến”, *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, Mã số B2009...*
8. Ngô Kiên Trung, Nguyễn Tiến Duy, Chu Minh Hà, Dương Quốc Tuấn (2010), “Nghiên cứu điều khiển hệ thống gương mặt trời bằng đại số gia tử”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, Số 68 (06), tr. 60 - 64.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Lê Hoài Bắc, Lê Hoàng Thái (2005), “Một số mô hình hệ thống minh lai: kỹ thuật và ứng dụng”, *Hội thảo khoa học quốc gia nghiên cứu và ứng dụng công nghệ thông tin lần II*, Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
2. Lê Hoài Bắc, Lê Hoàng Thái (2005), “Mạng neural mờ và các ứng dụng thực tế”, *Trường thu Hệ mờ và ứng dụng*, Viện Toán học, Hà Nội.
3. Bùi Công Cường, Nguyễn Hoàng Phương, Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, Chu Văn Hỷ (1999), *Hệ mờ và ứng dụng*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
4. Phạm Thanh Hà (2010), *Phát triển các phương pháp lập luận mờ sử dụng đại số gia tử và ứng dụng*, Luận án tiến sĩ Toán học, Viện Công nghệ thông tin Hà Nội.
5. Nguyễn Cát Hồ, Nguyễn Văn Long (2004), “Cơ sở toán học của độ đo tính mờ của thông tin ngôn ngữ”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, 20 (1), tr. 64 - 72.
6. Nguyễn Cát Hồ, Vũ Như Lâm, Phạm Thanh Hà (2007), “Xác định trọng số tối ưu cho phép tích hợp trong phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử bằng giải thuật di truyền”, *Tạp chí tin học và điều khiển học*, 23 (3), tr. 1 - 10.
7. Nguyễn Cát Hồ, Nguyễn Văn Long (2003), “Đại số gia tử đầy đủ tuyến tính”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, 19 (3), tr. 274 - 280.
8. Bùi Quốc Khánh, Đoàn Quang Vinh, Nguyễn Hữu Phước (2007), “Điều khiển mờ lai PI cho truyền động T-Đ có tham số J biến đổi”, *Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 23, tr. 31 - 35.

9. Hoàng Kiếm, Lê Hoàng Thái (2000) , *Thuật Giải Di Truyền: cách giải tự nhiên các bài toán trên máy tính* , Nhà xuất bản Giáo Dục.
10. Lại Khắc Lãi (2002), *Một số giải pháp tổng hợp bộ điều khiển mờ và ứng dụng điều khiển quá trình công nghệ*, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
11. Vũ Như Lâm, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phu (2002), “Điều khiển trong điều kiện bất định trên cơ sở logic mờ và khả năng sử dụng đại số gia tử trong các luật điều khiển”, *Tạp chí Tin học và điều khiển học*, 18 (3), tr. 211 - 221
12. Vũ Như Lâm, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phu, Nguyễn Duy Minh (2005), “Điều khiển sử dụng đại số gia tử”, *Tạp chí Tin học và điều khiển học*, 21 (1), tr. 23 - 27.
13. Vũ Như Lâm (2006), *Điều khiển sử dụng logic mờ, mạng nơ ron và đại số gia tử*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
14. Dương Thăng Long (2011), *Phương pháp xây dựng hệ mờ dạng luật với ngữ nghĩa dựa trên đại số gia tử và ứng dụng trong bài toán phân lớp*, Luận án tiến sĩ Toán học, Viện công nghệ thông tin Hà Nội.
15. Nguyễn Duy Minh (2013), *Tiếp cận Đại số gia tử trong điều khiển mờ*, Luận án tiến sĩ Toán học, Viện công nghệ thông tin Hà Nội.
16. Phương Minh Nam, Trần Thái Sơn (2006), “Về một CSDL mờ và ứng dụng trong quản lý tội phạm hình sự”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, 22 (1), tr. 25 - 36.
17. Phạm Công Ngô (2005), *Lý thuyết điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
18. Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh (2006), *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

19. Phan Anh Phong, Trần Đình Khang (2010), “Biểu diễn tập mờ loại hai đại số gia tử”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, 26 (1), tr. 29 - 43.
20. Phan Anh Phong, Đinh Khắc Đông, Trần Đình Khang (2011), “Xây dựng hệ logic mờ loại hai đại số gia tử”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học*, 27 (2), tr. 119 - 131.
21. Lê Xuân Việt (2009), *Định lượng ngữ nghĩa các giá trị của biến ngôn ngữ dựa trên đại số gia tử và ứng dụng*, Luận án tiến sĩ Toán học, Viện Công nghệ thông tin Hà Nội.

Tiếng Anh

22. Abdulrahman A. A. E. (2013), “Fuzzy control for nonlinear ball and beam system”, *International Journal of Fuzzy Logic Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 25 - 32.
23. Al-Said I. A. M. (2000), *Genetic Algorithms Based Intelligent Control*. Ph.D. thesis, University of Technology, Iraq.
24. Bin-Da Liu, Chuen-Yau Chen, Ju-Ying Tsa (2001), “Design of adaptive fuzzy logic controller based on linguistic-hedge concepts and genetic algorithms”, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. 31, No. 1, pp. 32 - 53.
25. Chul-Goo K. (2009), “Variable structure fuzzy control using three input variables for reducing motion tracking errors”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, pp. 1354 - 1364.
26. Cuong Nguyen Duy (2008), *Advanced Controllers for Electromechanical motion Systems*, Ph.D. thesis, University of Twente, The Netherlands.
27. Dong Anh Nguyen, Hai Le Bui, Nhu Lan Vu, Duc Trung Tran (2013), “Application of hedge algebra-based fuzzy controller to active control of a

- structure against earthquake”, *Struct. Control Health monit*, 20, pp. 483 - 495, ISSN 1545 - 2255.
28. Eduard Bartl, Radim Belohlavek, Vilem Vychodil (2012), “Bivalent and other solutions of fuzzy relational equations via linguistic hedges”, *Fuzzy Sets and Systems*, 187, pp. 103 - 112.
 29. Farhan A. S. (2013), “Mechatronics design of Ball and Beam system: Education and Research”, *Control Theory and Informatics*, Vol. 3, No. 4, pp. 1 - 27, ISSN 2224 - 5774 (Paper), ISSN 2225 - 0492 (Online).
 30. Holland (1975), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
 31. Ho N. C., Lan V. N., Viet L. X. (2008), “Optimal hedge-algebras-based controller: design and application”, *Fuzzy Sets and Systems*, 159 (8), pp. 968 - 989.
 32. Ho N.C., Wechler W. (1990), “An algebraic approach to structure of sets linguistic truth values”, *Fuzzy sets and systems*, 35, pp. 218 - 293.
 33. Ho N.C., Wechler W. (1992), “Extended hedge algebras and their application to fuzzy logic”, *Fuzzy sets and systems*, 52, pp. 259 - 281.
 34. Ho N.C, Nam H.V, Khang T.D, Chau N.H (1999), “Hedge algebra, linguistic - value logic and their application to fuzzy logic reasoning”, *International Journal of Uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 7(4), pp. 347 - 361.
 35. Ho N.C, Nam H.V (2002), “An algebraic approach to linguistic hedges in Zadeh’s fuzzy logic”, *Fuzzy sets and systems*, 129, pp. 229 - 254.
 36. Ho Nguyen Cat, Khang Dinh Tran, Viet Le Xuan (2002), “Fuzziness measure, quantified semantic mapping and interpolative method of

approximate reasoning in medical expert systems”, *Journal of computer science and cybernetics*, 18 (3), pp. 237 - 252.

37. Hai Le Bui, Duc Trung Tran, Nhu Lan Vu (2012), “Optimal fuzzy Control of an inverted pendulum”, *Journal of Vibration and Control*, 18 (14), pp. 2097 - 2110, ISSN 1077 - 5463.
38. Louchene, Benmakhlouf, Chaghi (2007), “Solar tracking system with fuzzy reasoning applied to scisp set”, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 10, No. 2, pp. 231 - 240.
39. Lotfi A. Zadeh (1978), “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, pp. 3 - 28.
40. Mohammad K., Ali F. J., Abolfazl M., Mohammad H. A., Wen-Fang X. (2012), “Modeling and control of ball and beam system using model based and non-model based control approaches”, *International journal on smart sensing and intelligent systems*, Vol.5, No.1, pp. 14 - 35.
41. Timothy J. Ross (2004), *Fuzzy logic with Engineering Applications*, Second Edition, International Edition. Mc Graw-Hill, Inc.
42. Twillert H. (2005), *Demonstrator of Advanced Controllers*, M.Sc. thesis, University of Twente, The Netherlands.
43. Onur Basturk, Manafeddin Namazov (2010), “DC motor position control using fuzzy proportional-derivative controllers with different defuzzification methods”, *An Official Journal of Turkish Fuzzy Systems Association*, Vol. 1, No. 1, pp. 36 - 54.
44. Patrick Golden (2003), *Multi-Objective Optimisation of Tagaki-Sugeno-Kang Fuzzy Models using a Genetic Algorithm*, Master of engineering thesis, Dublin City University, Ireland.

45. Yuehui Chen (2001), *Hybrid Soft Computing Approach to Identification and Control of Nonlinear Systems*, Kumamoto University, Japan.
46. Yager R. R. (1994), “Aggregation operators and fuzzy systems modelling, *Fuzzy Sets and Systems*, 67, pp. 129 - 145.
47. Zhao-Hong Xu, Libo-Song, Tian-Sheng Lu, Xu-Yang Wang (2008), “Dynamics Modeling and Trajectory Tracking Control for Humanoid Jumping Robot”, *WSEAS transactions on computers*, Vol. 7, pp. 714 - 723.

PHỤ LỤC

1. Code file 'HAC.m'

```
% xay dung bo dieu khien
%beginfunction
function HAC(block)
    setup(block);
%endfunction
function setup(block)
    %% Register number of input and output ports
    block.NumInputPorts = 3;
    block.NumOutputPorts = 1;
    %% Setup functional port properties to
    dynamically
    %% inherited.
    block.SetPreCompInpPortInfoToDynamic;
    block.SetPreCompOutPortInfoToDynamic;
    block.InputPort(1).DirectFeedthrough = true;
    %% Set block sample time to inherited
    block.SampleTimes = [-1 0];
    %% Run accelerator on TLC
    block.SetAccelRunOnTLC(true);
    %Critical range of input/output variables
global I1 I2 I3 0
global In Out
global w1 w2 w3
global teta alpha_in alpha_out
I1 = [-25 25];
I2 = [-100 100];
I3 = [-8 8];
```

```

O  = [-60    60];
E   = [vI('VN') vI('LN') tetra vI('LP') vI('VP')];
DE  = [vI('VN') vI('LN') tetra vI('LP') vI('VP')];
IE  = [vI('N') tetra vI('P')];
U   = [vO('VN') vO('LN') tetra vO('LP') vO('VP')];
[In, Out] = inout(E, DE, IE, U, w1, w2, w3);

%% Register methods
    block.RegBlockMethod('Outputs', @Output);
endfunction

function Output(block)
global I1 I2 I3 O
global In Out
global w1 w2 w3

%Read the real values from inputs P and I and D
In1 = block.InputPort(1).Data;
In2 = block.InputPort(2).Data;
In3 = block.InputPort(3).Data;

%Turn to the value of semantic quantity
(semantization)
Es  = (In1-I1(1))/(I1(2)-I1(1));
DEs = (In2-I2(1))/(I2(2)-I2(1));
IEs = (In3-I3(1))/(I3(2)-I3(1));

%Interpolate the quantitatively semantic curved
surface
x = w1*Es+w2*DEs+w3*IEs;
Os  = interpolate1new(In, Out, x);
%Turn to real value (desemantization)
Output = Os*(O(2)-O(1))+O(1);

%Send value to output: OutPort
block.OutputPort(1).Data = Output;
endfunction

```

2. Code file 'hac_ga.m'

```
% tu dong tim tham so theo tc tích phân bp sai lech
%tao cac gia tri mac dinh
popsize=15;
generation=50;
bits=50;
vlb=0;
vub=1;
Pc=0.7;
Pm=0.001;
%khởi tạo quần thể
newgen=genbin(bits,popsize);
%tính các giá trị thích nghi
fittol=0;
for i=1:popsize fit(i)=0;end
for n=1:generation
    for i=1:popsize
        teta=decode(newgen(i,1:bits/5),vlb,vub,bits/5);
        anpha_in=decode(newgen(i,bits/5+1:2*bits/5),vlb,vub,
            bits/5);
        anpha_out=decode(newgen(i,2*bits/5+1:3*bits/5),vlb,v
            ub,bits/5);
        w1=decode(newgen(i,3*bits/5+1:4*bits/5),vlb,vub,bits
            /5);
        w2=decode(newgen(i,4*bits/5+1:5*bits/5),vlb,1-
            w1,bits/5);
        fit(i)=hamthichnghi(teta,anpha_in,anpha_out,w1,w2);
        fittol=fittol+fit(i);
    end
    %thực hiện phép chọn lọc
    norm_fit = fit/sum(fit);
    selected = rand(size(fit));
    sum_fit = 0;
```

```

for i=1:length(fit),
sum_fit = sum_fit + norm_fit(i);
index = find(selected<sum_fit);
selected(index) = i*ones(size(index));
end
newgen = newgen(selected,:);
%Xap xep lai ngau nhien cac gen(mate)
[junk,mating] = sort(rand(size(newgen,1),1));
newgen = newgen(mating,:);
% Lai tao gen(Crossover)
lchrom = size(newgen,2);
sites = ceil(rand(size(newgen,1)/2,1)*(lchrom-1));
sites = sites.*(rand(size(sites))<Pc);
for i = 1:length(sites);
newgen([2*i-1      2*i],:) = [newgen([2*i-1
2*i],1:sites(i))
newgen([2*i 2*i-1],sites(i)+1:lchrom)];
end
%Dot bien gen(mutation)
[pop bitlength]=size(newgen);
for i=1:popsize
for j=1:bits
if rand<=Pm
if newgen(i,j)==1
newgen(i,j)=0;
else
newgen(i,j)=1;
end end end end end
max=0;
%tim gen co do thich nghi nhat
a=newgen;

```

```

for i=1:popsize
    tetra=decode(newgen(i,1:bits/5),vlb,vub,bits/5);
    anpha_in=decode(newgen(i,bits/5+1:2*bits/5),vlb,vub,
bits/5);
    anpha_out=decode(newgen(i,2*bits/5+1:3*bits/5),vlb,v
ub,bits/5);
    w1=decode(newgen(i,3*bits/5+1:4*bits/5),vlb,vub,bits
/5);
    w2=decode(newgen(i,4*bits/5+1:5*bits/5),vlb,1-
w1,bits/5);
    fit(i)=hamthichnghi(tetra,anpha_in,anpha_out,w1,w2);
        if fit(i)>max max=fit(i);chiso=i;end
end
giatrimax=max;
b=chiso;
tetra=decode(a(chiso,1:bits/5),vlb,vub,bits/5);
%fprintf('Gia tri lon nhat dat tai tetra= %d\n',
tetra);
anpha_in=decode(a(chiso,bits/5+1:2*bits/5),vlb,vub,b
its/5);
fprintf('Gia tri lon nhat dat tai anpha_in= %d\n',
anpha_in);
anpha_out=decode(a(chiso,2*bits/5+1:3*bits/5),vlb,vu
b,bits/5);
fprintf('Gia tri lon nhat dat tai anpha_out= %d\n',
anpha_out);
w1=decode(a(chiso,3*bits/5+1:4*bits/5),vlb,vub,bits/
5);
fprintf('Gia tri lon nhat dat tai w1= %d\n', w1);
w2=decode(a(chiso,4*bits/5+1:5*bits/5),vlb,1-
w2,bits/5);
fprintf('Gia tri lon nhat dat tai w2= %d\n', w2);
p=hamthichnghi(tetra,anpha_in,anpha_out,w1,w2);
fprintf('Gia tri lon nhat la %d\n', p);

```