



**Tạp chí**

**NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**

**ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

**SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY**

P. ISSN 1859-4190  
E. ISSN 2815-553X

Số 2 (77) 2022

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

P.ISSN 1859-4190 - E.ISSN 2815-553X

**Tạp chí Sao Đỏ:**

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 24, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/> Email: [tapchikhcn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhcn@saodo.edu.vn).

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.  
In 2.000 bản, khổ 21 x 29,7cm, tại Công ty TNHH In Trẻ Xanh, cấp ngày 17/02/2011.



**BỘ CÔNG THƯƠNG**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

Địa chỉ:

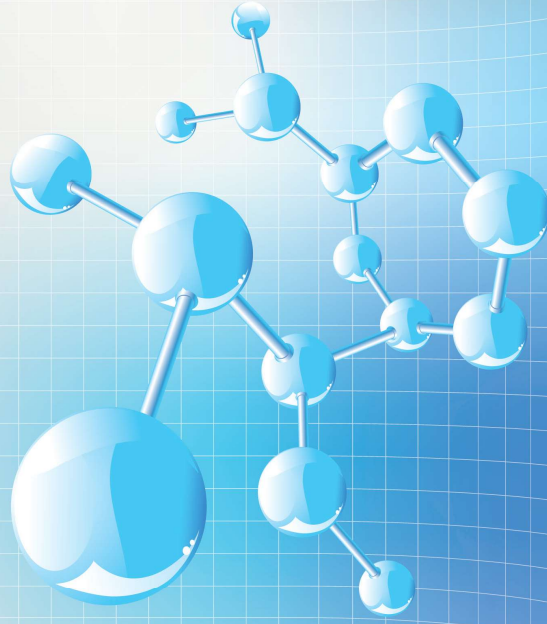
- Số 1: Số 24, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

- Số 2: Số 72, đường Nguyễn Thái Học/Quốc lộ 37, phường Thái Học, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

- Điện thoại: (0220) 3882 269 Fax: (0220) 3882 921 Website: <http://saodo.edu.vn> Email: [info@saodo.edu.vn](mailto:info@saodo.edu.vn)

P. ISSN 1859-4190  
E. ISSN 2815-553X

**Số 2 (77)  
2022**



**Số 2 (77)  
2022**

**P. ISSN 1859-4190**  
**E. ISSN 2815-553X**

**Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đĩnh

**Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn

**Thư ký Tòa soạn**

TS. Ngô Hữu Mạnh

**Hội đồng Biên tập**

NGND: TS. Đinh Văn Nhung - Chủ tịch Hội đồng

GS: Phạm Thị Ngọc Yến

PGS: TSKH. Trần Hoài Linh

PGS: TS. Nguyễn Quốc Cường

PGS: TS. Nguyễn Văn Liên

GS: TSKH. Trần Ngọc Hoàn

GS: TSKH. Bành Tiến Long

GS: TS. Trần Văn Địch

GS: TS. Phạm Minh Tuấn

PGS: TS. Lê Văn Học

PGS: TS. Nguyễn Doãn Ý

GS: TS. Đinh Văn Sơn

PGS: TS. Trần Thị Hà

PGS: TS. Trương Thị Thủy

TS. Vũ Quang Hiệp

PGS: TS. Nguyễn Thị Bất

GS: TS. Đỗ Quang Kháng

TS. Bùi Văn Ngọc

PGS: TS. Ngô Sỹ Lương

PGS: TS. Khuất Văn Ninh

GS: TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS: TS. Nguyễn Văn Độ

PGS: TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS: TS. Nguyễn Ngọc Hà

**Ban Biên tập**

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Trưởng ban

ThS. Đào Thị Vân

**Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

**Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

**Office Secretary**

Dr. Ngo Huu Manh

**Editorial Board**

People's Teacher, Dr. Dinh Van Nhung - Chairman

Prof. Dr. Phạm Thị Ngọc Yến

Assoc. Prof. Dr. Trần Hoài Linh

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Quốc Cường

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Văn Liên

Prof. Dr. Sc. Trần Ngọc Hoàn

Prof. Dr. Sc. Bành Tiến Long

Prof. Dr. Trần Văn Địch

Prof. Dr. Phạm Minh Tuấn

Assoc. Prof. Dr. Lê Văn Học

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Doãn Ý

Prof. Dr. Đinh Văn Sơn

Assoc. Prof. Dr. Trần Thị Hà

Assoc. Prof. Dr. Trương Thị Thủy

Dr. Vũ Quang Hiệp

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Thị Bất

Assoc. Prof. Dr. Đỗ Quang Kháng

Prof. Dr. Bùi Văn Ngọc

Assoc. Prof. Dr. Ngô Sỹ Lương

Assoc. Prof. Dr. Khuất Văn Ninh

Prof. Dr. Sc. Phạm Hoàng Hải

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Văn Độ

Assoc. Prof. Dr. Đoàn Ngọc Hải

Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Ngọc Hà

**Editorial**

MSc. Đoàn Thị Thu Hằng - Head

MSc. Đào Thị Vân

# THẺ LỆ GỬI BÀI

## TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu Khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

- Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tập chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
- Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
- Tòa soạn chỉ nhận bài gửi online trên website <http://tapchikhn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về toà soạn dưới dạng file điện tử (\*.doc \*.docx và \*.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phán biên thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do toà soạn mời. Toà soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
- Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
- Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
- Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
- Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
- Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03-05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
- Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
- Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 x 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt, căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (\*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng MathType hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
- Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
  - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
  - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.
  - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
- Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ [http://tapchikhn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format\\_paper](http://tapchikhn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper)  
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhn.saodo.edu.vn>.

### THÔNG TIN LIÊN HỆ:

**Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ**

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 24, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhn.saodo.edu.vn>

Email: [tapchikhn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhn@saodo.edu.vn)

**Đã có Bài soạn**  
Trường Đại học Sao Đỏ,  
Số 24, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.  
Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.  
Website: <http://tapchikhn.saodo.edu.vn>/Email: [tapchikhn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhn@saodo.edu.vn).

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.  
In 2.000 bản, khổ 21 x 29,7cm, tại Công ty TNHH In Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

**Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 2 (77) 2022**

**LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA**

Phát triển các giải pháp và thiết bị chiếu tia cực tím (UVC) tiết kiệm và hiệu quả để khử nhiễm nhanh chóng SARS-CoV-2 trên khẩu trang N95	5	Nguyễn Mạnh Cường Đặng Trần Huy Vương Trí Tiếp Chử Đức Hoàng Nguyễn Trọng Các
Giám nhiễu trong mạng hỗn tạp 5G dựa trên thuật toán phân bố tốc độ	11	Nguyễn Thị Quyên Vũ Bảo Tạo Hoàng Thị An
Thiết kế bộ điều khiển thích nghi mờ kép dựa trên phương pháp cuốn chiếu cho tay máy robot công nghiệp	19	Phạm Công Tào Trần Thị Điệp Nguyễn Thị Thảo Nguyễn Trương Huy
Ảnh hưởng của nhiễu lên kênh truyền AWGN và Rayleigh - fading sử dụng điều chế 16PSK trong hệ thống truyền thông không dây	27	Tạ Thị Mai Nguyễn Văn Tiến

**NGÀNH CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**

Nhận diện cảm xúc người học thời gian thực trong lớp học trực tuyến	33	Đặng Thành Trung Phạm Quang Huy Phạm Thị Hường
---	----	--

**LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC**

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ ép mex đến độ co, độ bền bám dính giữa mex và vải Wool Silk Linen	40	Bùi Thị Loan Tạ Văn Hiến
Laser và ứng dụng laser để cắt vải, da trong công nghiệp	45	Ngô Hữu Mạnh Mạc Thị Nguyên Nguyễn Thị Hồng Nhung
Phân tích, tối ưu hóa kết cấu tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn phi tuyến	50	Vũ Văn Tản
Nghiên cứu sự ảnh hưởng các tham số của phương pháp Polynomial Chaos Creux đến sai số Leave-One-Out	56	Cao Huy Giáp

**NGÀNH TOÁN HỌC**

Tính chất phổ của hàm trong không gian $L_p(\mathbb{R})$ và tập sinh bởi đa thức	61	Nguyễn Kiều Hiền
--	----	------------------

#### **NGÀNH KINH TẾ**

- Thúc đẩy hoạt động xúc tiến thương mại điện tử nhằm mở rộng thị trường tiêu thụ nông sản trên địa bàn thành phố Chí Linh 65 Vũ Thị Hương
- Bàn về phát triển nguồn nhân lực phục vụ nông nghiệp bền vững của một số vùng và hướng gợi mở cho Đồng bằng sông Hồng 71 Vũ Văn Đông  
Trần Thị Hồng Nhung
- Hình ảnh thương hiệu Trường Đại học Sao Đỏ - tiếp cận từ phía người học 78 Trần Thị Hằng  
Vũ Thị Hương  
Nguyễn Thị Ngọc Mai

#### **LIÊN NGÀNH HÓA HỌC - CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM**

- Nghiên cứu ảnh hưởng tương quan và tương tác spin-orbit đến tính chất cộng hưởng từ hạt nhân của  $^{95}\text{Mo}$  trong một số muối molybdat bằng phương pháp phiếm hàm mật độ 86 Phạm Thị Diệp  
Lê Ngọc Hòa

#### **LIÊN NGÀNH KHOA HỌC TRÁI ĐẤT - MỎ**

- Phát triển du lịch bền vững thành phố Chí Linh trong xu thế hội nhập toàn cầu 93 Trần Thị Mai Hương  
Nguyễn Thị Thảo

#### **LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC**

- Giải pháp nâng cao chất lượng tự học học phần lịch sử Đảng cộng sản Việt Nam cho sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ 58 Nguyễn Thị Hải Hà
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về tôn trọng trí thức, tôn trọng nhân tài và sự vận dụng tư tưởng đó ở Việt Nam hiện nay 108 Phùng Thị Lý  
Nguyễn Thị Hải Hà
- Hoạt động kết nối phục vụ cộng đồng của sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ: Thực trạng và giải pháp 115 Nguyễn Thị Hải Hà  
Phạm Xuân Đức  
Phạm Thị Mai  
Nguyễn Thị Hiền  
Lê Thị Huyền
- Những nguyên tắc cơ bản trong nghiên cứu và giảng dạy chủ nghĩa Mác - Lênin 123 Nguyễn Thị Nhan  
Vũ Tiến Hiếu

**TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION**

- |  |    |   |
|--|----|---|
| Development of economical and effective ultraviolet (UVC) irradiation solutions and equipment for rapid decontamination of SARS-CoV-2 on N95 respirators | 5  | Nguyen Manh Cuong<br>Dang Tran Huy<br>Vuong Tri Tiep<br>Chu Duc Hoang<br>Nguyen Trong Cac |
| Interference mitigation in 5G heterogeneous networks based on rate allocation algorithm  | 11 | Nguyen Thi Quyen<br>Vu Bao Tao<br>Hoang Thi An  |
| Design dual-fuzzy adaptive controller based on method back-stepping for industrial robotic manipulators  | 19 | Pham Cong Tao<br>Tran Thi Diep<br>Nguyen Thi Thao<br>Nguyen Truong Huy                    |
| Effect of interferences on AWGN and Rayleigh - fading using 16PSK modulation for wireless communication system   | 27 | Ta Thi Mai<br>Nguyen Van Tien   |

**TITLE FOR INFORMATION TECHNOLOGY INDUSTRY**

- |   |    |  |
|---|----|--|
| Real-time learner emotion recognition in online class | 33 | Dang Thanh Trung<br>Pham Quang Huy<br>Pham Thi Huong |
|---|----|--|

**TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING**

- |  |    |   |
|--|----|---|
| Study on the influence of fusing parameters on shrinkage, adhesion strength between Interlining and Wool Silk Linen fabric | 40 | Bu Thi Loan<br>Ta Van Hien                              |
| Laser and using laser cutting fabric, leather in industry  | 45 | Ngo Huu Manh<br>Mac Thi Nguyen<br>Nguyen Thi Hong Nhung |
| Structural optimization of ship structures based on structural analysis using nonlinear finite element method              | 50 | Vu Van Tan  |
| Study on the effects of the parameters of the Polynomial Chaos Creux method on the error of Leave-One-Out                  | 56 | Cao Huy Giap  |

**TITLE FOR MATHEMATICS**

- |   |    |                  |
|---|----|------------------|
| Spectral properties of the function space $L_p(\mathbb{R})$ and set generated by polynomial | 61 | Nguyen Kieu Hien |
|---|----|------------------|

**TITLE FOR ECONOMICS**

- Promoting e-commerce promotion activities to expand the consumption market of agricultural products in the area of Chi Linh city 65 Vu Thi Huong
- Discuss the development of human resources for sustainable agriculture in some regions and suggestive directions for the Red river Delta 71 Vu Van Dong  
Tran Thi Hong Nhung
- Brand image of Sao Do University - approach from learners 78 Tran Thi Hang  
Vu Thi Huong  
Nguyen Thi Ngoc Mai

**TITLE FOR CHEMISTRY AND FOOD TECHNOLOGY**

- Study on the relativistic effects and spin-orbit coupling on the nuclear magnetic resonance properties of <sup>95</sup>Mo in some molybdate salts by density functional method 86 Pham Thi Diep  
Le Ngoc Hoa

**TITLE FOR EARTH SCIENCE - MINING**

- Tourism sustainable development of Chi Linh city in the global integration trend 93 Tran Thi Mai Huong  
Nguyen Thi Thao

**TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE**

- Solution to improve the quality of subjects of subjects of Viet Nam community college for students of star university 101 Nguyen Thi Hai Ha
- Ho Chi Minh's thought on respecting intellectuals, respecting talents and the application of that thought in Vietnam today 108 Phung Thi Ly  
Nguyen Thi Hai Ha
- Connecting activities to serve the community of Sao Do University students: Current situation and solutions 115 Nguyen Thi Hai Ha  
Pham Xuan Duc  
Pham Thi Mai  
Nguyen Thi Hien  
Le Thi Huyen
- Basic principles in studying and teaching Marxism - Leninism 123 Nguyen Thi Nhan  
Vu Tien Hieu

# Design dual-fuzzy adaptive controller based on method backstepping for industrial robotic manipulators

## Thiết kế bộ điều khiển thích nghi mờ kép dựa trên phương pháp cuốn chiếu cho tay máy robot công nghiệp

Pham Cong Tao, Tran Thi Diep\*, Nguyen Thi Thao, Nguyen Truong Huy

\*Email: [phuongdiep222@gmail.com](mailto:phuongdiep222@gmail.com)

Sao Do University

Received date: 16/01/2022

Accepted date: 28/6/2022

Published date: 30/6/2022

### Abstract

In this study, a combination of multi-input fuzzy control, single-input fuzzy control, sliding mode control and backstepping control is introduced to the industrial robot manipulator (IRM). Simulation results show the high performance of this control method when compared to a double-fuzzy backstepping sliding mode controller (DFBSMC) and Fuzzy Backstepping Sliding Mode Controller (FBSMC). Moreover, the effectiveness of the controller is also demonstrated through simulation and experiment results when comparing the proposed controller with FBSMC and DFBSMC. The simulation results show that the convergence speed, braking ability, grip error, stability, fast response, overshoot of the proposed controller DFBSMC are better than the FBSMC controller. Thereby concluding, the suggested control is accordance for adaptive-robust-fuzzy double controller and can be used as supplement and replace of traditional backstepping control.

**Key Words:** Industrial robot manipulator; robust adaptive fuzzy double control; sliding control, backstepping control.

### Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, sự kết hợp của điều khiển mờ nhiều đầu vào, điều khiển mờ một đầu vào, điều khiển chế độ trượt và điều khiển cuốn chiếu được giới thiệu cho điều khiển tay máy robot công nghiệp (IRM). Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu suất cao của phương pháp điều khiển này khi so sánh với bộ điều khiển chế độ trượt cuốn chiếu mờ kép thích nghi (DFBSMC) và bộ điều khiển chế độ trượt cuốn chiếu mờ (DFBSMC)). Hơn nữa, tính hiệu quả của bộ điều khiển còn được chứng minh qua các kết quả mô phỏng và thí nghiệm khi so sánh bộ điều khiển được đề xuất với FBSMC và DFBSMC. Kết quả mô phỏng cho thấy tốc độ hội tụ, khả năng phanh, sai số bám, độ ổn định, phản ứng nhanh, vọt lố của bộ điều khiển đề xuất DFBSMC tốt hơn bộ điều khiển FBSMC. Qua đó kết luận, điều khiển được đề xuất phù hợp với bộ điều khiển kép mờ thích nghi-mạnh mẽ và có thể được sử dụng để bổ sung và thay thế cho điều khiển cuốn chiếu truyền thống.

**Từ khóa:** Tay máy robot công nghiệp; điều khiển mờ kép thích nghi bền vững; điều khiển trượt; điều khiển cuốn chiếu.

### 1. INTRODUCTION

For IRM then precise dynamics are not available in position to design the perfect controller. In fact, the controller of IRM is a nonlinear system with multi-input-multi-output (MIMO). System of the robot in the process of working is always affected by external disturbances, nonlinear function, payloads, etc.... to overcome this, there were many proposed controllers for example adaptive control, sustainable adaptive controller, backstepping controller and intelligent controller, etc [1-4]. Robust adaptive backstepping techniques have been developed for the construction of controllers for MIMO systems [5]. In order to design a control and tracking strategy that is appropriate for a large class of linear state response systems, investigations

based on backstepping control have been proposed [6-7]. However, Backstepping design method still has some disadvantages. The backstepping method is really just an incremental recursive design method. To solve the disadvantage of backstepping controller, an adaptive fuzzy controller has been developed for IRM. Adaptive fuzzy controller has been added effectively to approximate nonlinear systems [8-11]. However, for most proposed adaptive fuzzy controllers, fuzzy control rules are difficult to develop appropriate control rules, associated functions and ensure system stability is a big problem that needs to be addressed. To solve this problem the author has proposed two combinations. These effective combinations are based on the advantages of fuzzy control, backstepping and sliding mode control. The first combination of multi-input fuzzy control, backstepping, and sliding mode control has developed a fuzzy backstepping sliding mode control (FBSMC) based on the design of the general back-

Reviewer: 1. Prof. Dr. Than Ngoc Hoan

2. Assoc. Prof. Dr. Tran Hoai Linh

stepping control method. However, in the first combination there was a chattering signal caused by the sliding mode controller. That is solved by the second combination. This combination is created by adding a single-input fuzzy controller to the FBSMC controller to create a double fuzzy backstepping sliding mode control (DFBSMC). Due the multi-input fuzzy control does a good approximation of the nonlinear function, and the single-input fuzzy controller does a good job of eliminating chattering signals in the sliding mode controller. So the DFBSMC controller proposed in this chapter uses both to approximate unknown dynamics and eliminate chattering signals. In this control method, sliding mode control and backstepping technique can be taken full advantage and both fuzzy controllers compensate for the lack of sliding mode control and backstepping technique. The stability and the ability to eliminate chattering signals were proved by Lyapunov's theorem, and the simulation results were carried out by three-link robot manipulator.

This is the latest technology that currently does not coincide with any research. A combination of multi-input fuzzy control, single-input fuzzy control, sliding mode control and backstepping control is introduced to the industrial robot manipulator (IRM). This is a new innovation in intelligent control technology for industrial robot manipulators. It contributes to the enhancement of the company's technical capabilities as demonstrated by its ability to eliminate interference signals that affect industrial robotic arms.

## 2. PROBLEM FORMULATION AND PRELIMINARIES

### 2.1. Dynamic of Industrial Robot Manipulators

Considering the dynamic equation of n-link industrial robot manipulator is given as follows [17]:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D_e = \tau \quad (1)$$

Where:

$(q, \dot{q}, \ddot{q}) \in R^{n \times 1}$  are the vectors of joint position, velocity and acceleration, respectively.  $M(q) \in R^{n \times n}$  is the symmetric inertial Matrix.  $C(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$  is the vector of Coriolis and Centripetal forces.  $D_e \in R^{n \times 1}$  is the bounded unknown disturbances input and the unmodeled dynamics vector. And  $\tau$  is the  $n \times 1$  control input vector of joints torque.

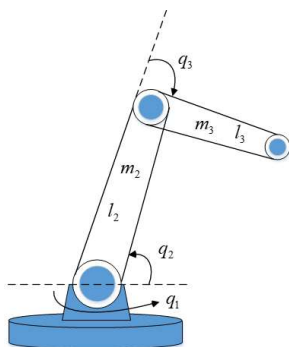


Figure 1. Industrial robot manipulator

For designing controller, several properties of the robot dynamics Equation (1) have been assumed as follows.

**Property 1:** The inertial matrix  $M(q)$  is a symmetric and bounded positive matrix.

$$M(q) \leq m_0 I \quad (2)$$

Where:

$$m_0 > 0 \text{ and } m_0 \in R.$$

**Property 2:**  $\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})$  is skew symmetric matrix, for any vector  $x$ .

$$x^T [\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})] x = 0 \quad (3)$$

**Property 3:**  $C(q, \dot{q})\dot{q}$ ,  $F(\dot{q})$  is bounded as follows.

$$\|C(q, \dot{q})\dot{q}\| \leq C_k \|\dot{q}\|^2 \quad (4)$$

Where:

$C_k$  is positive constants.

**Property 4:**  $D_e > 0$ ;  $D_e \in R^{n \times 1}$  is the unknown disturbance and bounded as.

$$D_e > 0; D_e \in R^{n \times 1} \quad (5)$$

Where:

$d_e$  is known positive constants.

### 2.2. Design of Fuzzy Backstepping Sliding Mode Controller

In this section, we proposed an intelligent controller which combines multi input fuzzy controller, backstepping controller and sliding mode controller to suppress the effects of the uncertainties and approximation errors. Thus, the unknown functions of robot manipulator control system are estimated, and the stability of control system can be guaranteed. The structure of the proposed fuzzy backstepping sliding mode controller (FBSMC) is described in Fig. 2.

The multi input fuzzy controller will be applied to solve the approximator of the system (1). The SMC with robust compensating effect acts as a secondary controller to ensure stability and sustainability under the different environments. The 2 step fuzzy backstepping sliding mode controller design is based on the change of coordinates.

Define.

$$\begin{cases} x_1 = q \\ x_2 = \dot{q} \\ y = x_1 \\ z_1 = y - y_d \\ z_2 = x_2 - \alpha_1 \end{cases} \quad (6)$$

Where:

$y_d(t)$  is the expected angle and has second order derivative,  $x_2 = \dot{x}_1$ ,  $\alpha_1$  is an intermediate control and selected as:

$$\alpha_1 = \dot{y}_d - \lambda_1 z_1 \quad (7)$$

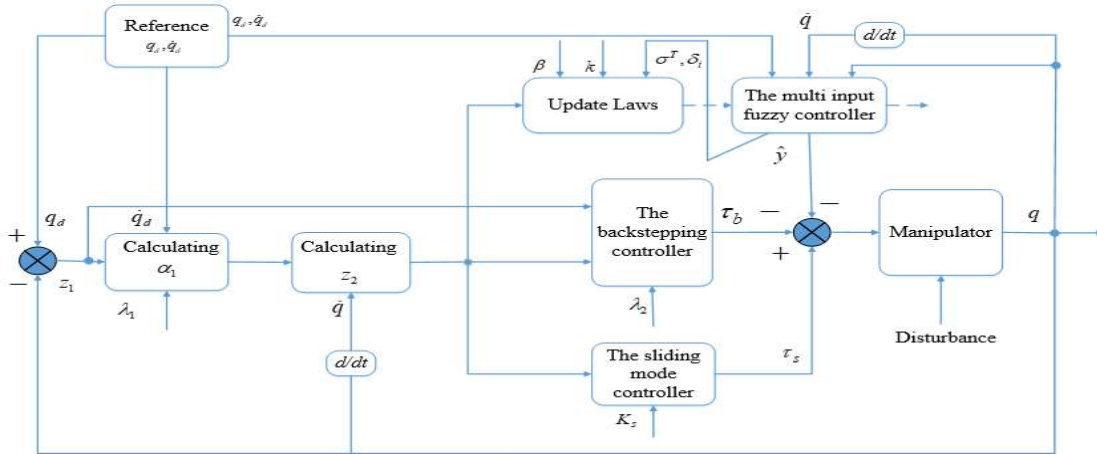


Figure 2. Structure chart of the fuzzy backstepping sliding mode controller

With  $\lambda_1 > 0$

Step 1: By choosing the appropriate  $\alpha_1$ , leading to the filtered tracking error  $z_2(t) \rightarrow 0$ , and from (6). The derivative of  $z_1(t)$  can be obtained:

$$\dot{z}_1(t) = z_2 + \alpha_1 - \dot{y}_d \quad (8)$$

Consider the following Lyapunov function candidate  $L_1$  as follows:

$$L_1 = \frac{1}{2} z_1^T z_1 \quad (9)$$

The time derivative of the Lyapunov function  $L_1$  and using equations (6-8), one has.

$$\begin{aligned} \dot{L}_1 &= z_1^T \dot{z}_1 = z_1^T (\dot{y} - \dot{y}_d) = z_1^T (\dot{x}_1 - \dot{y}_d) = z_1^T (x_2 - \dot{y}_d) \\ &= z_1^T (z_2 + \alpha_1 - \dot{y}_d) = -\lambda_1 z_1^T z_1 + z_1^T z_2 \end{aligned} \quad (10)$$

Step 2: The dynamics equation (2.1) of three link robot manipulators can be rewritten as follows:

$$\dot{x}_2 = -M^{-1}Cx_2 - M^{-1}D_e + M^{-1}\tau \quad (11)$$

From (11) and by using  $z_2(t) = x_2(t) - \alpha_1$ , we can obtain:

$$\dot{z}_2 = -M^{-1}Cx_2 - M^{-1}D_e + M^{-1}\tau - \dot{\alpha}_1 \quad (12)$$

To continue our design, the adaptive control law is proposed as follows:

$$\tau = -\tau_b - \hat{y} + \tau_s \quad (13)$$

Where:

$\tau_b$  is the backstepping controller.

$$\tau_b = z_1 + \lambda_2 z_2 \quad (14)$$

With  $\lambda_2 > 0$

In (13)  $\tau_s$  is a SMC robust term that is used to suppress the effects of uncertainties and approximation errors, and  $\hat{y}(x)$  is the approximation of the adaptive function  $y(x)$  and is defined as.

$$\hat{y} = -\hat{C}\alpha_1 - \hat{M}\dot{\alpha}_1 \quad (15)$$

Follow above analysis, we propose a SMC robust term  $\tau_s$  as:

$$\tau_s = K_s \text{sgn}(z_2) \quad (16)$$

Where:

$K_s = \text{diag}\{K_{s1}, K_{s2}, K_{s3}\}$  and  $K_s > d_e$  substituting (14) and (16) into (13), we obtain.

$$\tau = -z_1 - \lambda_2 z_2 - \hat{y} + K_s \text{sgn}(z_2) \quad (17)$$

Consider the following candidate Lyapunov function:

$$L_2 = L_1 + \frac{1}{2} z_2^T M z_2 \quad (18)$$

The time derivative of  $L_2$  is.

$$\dot{L}_2 = \dot{L}_1 + \frac{1}{2} \dot{z}_2^T M z_2 + \frac{1}{2} z_2^T \dot{M} z_2 + \frac{1}{2} z_2^T M \dot{z}_2 \quad (19)$$

From equations (6), (10), (12) and using property 3, we have.

$$\begin{aligned} \dot{L}_2 &= z_1^T z_2 - \lambda_1 z_1^T z_1 + z_2^T M (-M^{-1}Cx_2 - M^{-1}D_e \\ &\quad + M^{-1}\tau - \dot{\alpha}_1) + z_2^T C z_2 \\ &= z_1^T z_2 - \lambda_1 z_1^T z_1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} &+ z_2^T (-C\alpha_1 - M\dot{\alpha}_1 - \lambda_2 z_2 - z_1 - \sigma^T \delta) \\ &+ z_2^T K_s \text{sgn}(z_2) - z_2^T D_e \end{aligned}$$

By defining  $y = -C\alpha_1 - M\dot{\alpha}_1$ , now (20) becomes.

$$\begin{aligned} \dot{L}_2 &= -\lambda_1 z_1^T z_1 - \lambda_2 z_2^T z_2 + z_2^T (y - \sigma^T \delta) \\ &+ z_2^T K_s \text{sgn}(z_2) - z_2^T D_e \\ &= -\lambda_1 z_1^T z_1 - \lambda_2 z_2^T z_2 + z_2^T (y - \sigma^T \delta^*) \\ &+ z_2^T [\sigma^T \delta^* - \sigma^T \delta] + z_2^T K_s \text{sgn}(z_2) - z_2^T D_e \end{aligned} \quad (21)$$

$$= -\lambda_1 z_1^T z_1 - \lambda_2 z_2^T z_2 + z_2^T (y - \sigma^T \delta^*)$$

$$+ z_2^T \sigma^T \tilde{\delta} + z_2^T K_s \text{sgn}(z_2) - z_2^T D_e$$

$$\dot{L}_2 \leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \lambda_2 z_2^T z_2 + z_2^T (y - \sigma^T \delta^*)$$

$$+ z_2^T \sigma^T \tilde{\delta}$$

Using (5) and property 4, we can obtain:

$$\begin{aligned} \dot{L}_2 &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \lambda_2 z_2^T z_2 + \frac{1}{2} (z_2^T)^2 + \frac{1}{2} (y - \sigma^T \delta^*)^2 \\ &+ z_2^T \sigma^T \tilde{\delta} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) z_2^T z_2 + \frac{1}{2} \omega^2 + z_2^T \sigma^T \tilde{\delta}$$

2.3. DESIGN OF DOUBBLE FUZZY BACKSTEPPING SLIDING MODE CONTROLLER

The structure of the double-fuzzy backstepping sliding mode controller (DFBSMC) is shown in Figure 2.4 below:

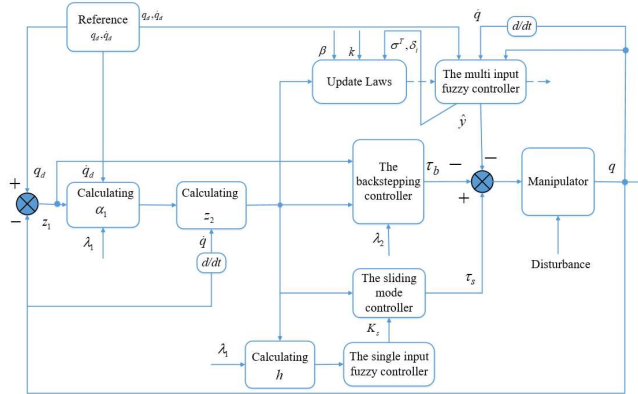


Figure 3. Structure chart of the double-fuzzy backstepping sliding mode controller

$$h = \frac{|\lambda_1 z_1 + \dot{z}_1|}{\sqrt{\lambda_1^2 + 1}} = \frac{|z_2|}{\sqrt{\lambda_1^2 + 1}} \quad (23)$$

As shown in Fig 3,  $h$  is given by

As seen from (23),  $h$  is non-negative,  $h$  is proportional to  $|z_2|$  and the proportionality coefficient is related to the slope  $\lambda_1$  of the sliding surface, to make  $h$  can not only reflect the magnitude of the value  $z_2$  but also reflect the positive and negative conditions, it is necessary to improve (23), which can be rewritten as.

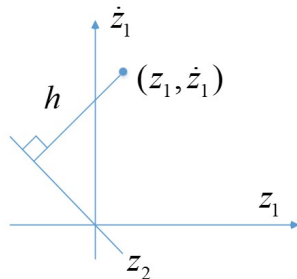


Figure 4. Distance between current movement point and sliding surface

$$h = \frac{z_2}{\sqrt{\lambda_1^2 + 1}}$$

The improved  $h$  is called as the generalized distance. The generalized distance  $h$  is defined as the input of the laws, switch gain  $K_s$  is defined as the output of the laws. Then, the fuzzy rules in the block “the single input fuzzy controller” (Figure 4) are shown in Table 1 below.

Table 1. Input-output rule of the single input fuzzy controller

The number of fuzzy rules	$h$	$K_s$
1	NB	NB
2	NM	NM
3	NS	NS
4	Z	Z

The number of fuzzy rules	$h$	$K_s$
5	PS	PS
6	PM	PM
7	PB	PB

The membership functions of linguistic labels  $NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB$  for the term  $h$  are shown in Figure 5. The membership functions of linguistic labels  $NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB$  for the term  $K_s$  are shown in Figure 6.

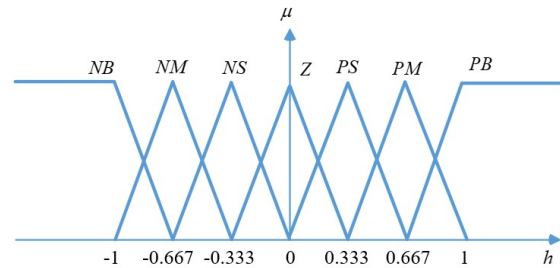


Figure 5. Input membership functions of single input

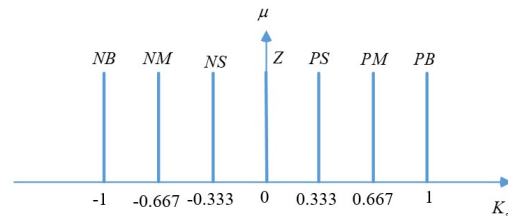


Figure 6. Output membership functions of single input fuzzy controller

The membership function in Figures 6 and Figures 7 is norm form. Where  $NB, NM, NS, Z$  and  $PS, PM, PB$  indicate Negative Big, Negative Medium, Negative Small, Zero and Positive Small, Positive Medium, Positive Big, respectively.

By applying the adaptive control law equation (17) to the dynamic equation (1), using the SMC function equation (16), and using the backstepping controller equation (14), the online update laws of the multi input fuzzy controller are designed as.

$$\dot{\delta} = -k\delta + \beta [z_2^T \sigma^T(x)]^T \quad (24)$$

Where:

$k, \beta$  are positive adaptation rates.

3. DEMONSTRATE STABILITY AND CAPABILITY OF ELIMINATING CHATTERING SIGNAL OF THE PROPOSED CONTROLLER

Two theorems will be proved in this section. Theorem 1 is to analyze the asymptotic stability of the closed-loop system in Figure 3 which is described by equation (12). Theorem 2 involves analyzing the ability of eliminating chattering signal of the proposed controller is shown in Figure 4.

**Theorem 1:** Consider a three-link industrial robot manipulator represented by (1). If the DFBSMC adaptive update laws are designed as (24), the SMC is given by (16), and backstepping controller (14). The adaptive

control law designed in (12), then the tracking error and the convergence of all the system parameters can approached to zero asymptotically.

Proof: Consider the following candidate Lyapunov function:

$$L = L_2 + \frac{1}{2\beta} \tilde{\delta}^T \tilde{\delta} \quad (25)$$

With  $\beta > 0$

The time derivative of  $L$  is

$$\dot{L} = \dot{L}_2 - \frac{1}{\beta} \tilde{\delta}^T \dot{\tilde{\delta}} \quad (26)$$

Similar to the derivations in step 2, one has.

$$\begin{aligned} \dot{L}_2 &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) z_2^T z_2 + \frac{1}{2} \omega^2 + z_2^T \sigma^T \tilde{\delta} \\ &\quad - \frac{1}{\beta} \tilde{\delta}^T \dot{\tilde{\delta}} \\ &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) z_2^T M M^{-1} z_2 + z_2^T \sigma^T \tilde{\delta} \\ &\quad - \frac{1}{\beta} \tilde{\delta}^T \dot{\tilde{\delta}} + \frac{1}{2} \omega^2 \end{aligned} \quad (27)$$

From property 1 and the adaptive law (25), now (27) becomes.

$$\begin{aligned} \dot{L} &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{m_0} z_2^T M z_2 \\ &\quad + \frac{k}{\beta} \tilde{\delta}^T \delta + \frac{1}{2} \omega^2 \\ &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{m_0} z_2^T M z_2 \\ &\quad + \frac{k}{2\beta} (2\delta^{*T} \delta - 2\delta^T \delta) + \frac{1}{2} \omega^2 \\ &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{m_0} z_2^T M z_2 \\ &\quad + \frac{k}{2\beta} (\delta^{*T} \delta^* - \delta^T \delta) + \frac{1}{2} \omega^2 \\ &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{m_0} z_2^T M z_2 \\ &\quad + \frac{k}{2\beta} (-\delta^{*T} \delta - \delta^T \delta) + \frac{k}{\beta} \delta^{*T} \delta^* + \frac{1}{2} \omega^2 \end{aligned} \quad (28)$$

Since  $-\delta^{*T} \delta^* - \delta^T \delta \leq -\frac{1}{2} \tilde{\delta}^T \tilde{\delta}$ , now (28) becomes

$$\begin{aligned} \dot{L} &\leq -\lambda_1 z_1^T z_1 - \left( \lambda_2 - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{m_0} z_2^T M z_2 - \frac{k}{2\beta} \left( \frac{1}{2} \tilde{\delta}^T \tilde{\delta} \right) \\ &\quad + \frac{k}{\beta} \delta^{*T} \delta^* + \frac{1}{2} \omega^2 \end{aligned} \quad (29)$$

Denote  $\xi_m = \text{Min} \left\{ 2\lambda_1, (2\lambda_2 - 1) \frac{1}{m_0}, \frac{k}{2} \right\}$  and

$$\xi_0 = \frac{k}{\beta} \delta^{*T} \delta^* + \frac{1}{2} \omega^2.$$

We have

$$\begin{aligned} \dot{L} &\leq -\xi_m \left( \frac{1}{2} z_1^T z_1 + \frac{1}{2} z_2^T M z_2 + \frac{1}{2\beta} \tilde{\delta}^T \tilde{\delta} \right) + \xi_0 \\ &\leq -\xi_m L + \xi_0 \end{aligned} \quad (30)$$

Integrating  $\dot{L}$  with respect to time as follows:

Then

$$L(t) \leq L(0) + \frac{\xi_0}{\xi_m} \quad (31)$$

Moreover, by (31), we can further obtain

$$\frac{1}{2} z_1^2(t) = \frac{1}{2} (y(t) - y_d(t))^2 \leq L(t) \leq L(0) + \frac{\xi_0}{\xi_m} \quad (32)$$

Equation (30) implies that there exists  $T$  which for all  $t > T$ , the tracking error  $z_1$  satisfies.

$$|z_1| \leq \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_m}} \quad (33)$$

Following the above design procedures, stable analysis guarantees that all the signals in the closed-loop system are bounded in mean square. Furthermore, the tracking error can be made arbitrarily small by choosing the appropriate design parameters.

**Theorem 2:** Consider a three-link robot manipulator represented by (1). If the adaptive control law is defined as (12), the generalized distance  $h$  is defined as (24). If the fixed parameter  $K_s$  in equation (12) is substitute by a replacement cost based on the magnitude of the generalized distance  $h$  through the single input fuzzy controller, then the chattering signal in the system will be completely eliminated.

Proof: From equation (12), it is clear that the main component causing the chattering phenomenon in the system is the function  $K_s \text{sgn}(z_2)$ . To overcome this phenomenon, we add a fuzzy processing element in the controller to eliminate the *sign*.

By the focal defuzzification method parameter  $K_s$  is defined:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^7 \beta_i K_s^i}{\sum_{i=1}^7 \beta_i} \quad (34)$$

In there  $b_i$  is the correctness of the  $i^{\text{th}}$  rule:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^7 \beta_i K_s^i}{\sum_{i=1}^7 \beta_i} \quad (35)$$

From (34) and (35) we obtain:

$$\lim_{z_2 \rightarrow 0} K_s = \lim_{z_2 \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^7 \beta_i K_s^i}{\sum_{i=1}^7 \beta_i} = 0 \quad (36)$$

From (36) deduce.

$$\lim_{z_2 \rightarrow 0} K_s \operatorname{sgn}(z_2) = 0 \quad (37)$$

According to theorem 1 we have.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} z_2 = 0 \quad (38)$$

From (37) and (38) we deduce.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_s \operatorname{sgn}(z_2) = 0 \quad (39)$$

According to (39) when time  $t$  tends to  $\infty$ , function  $K_s \operatorname{sgn}(z_2)$  is completely eliminated in adaptive control law (12). Thus, chattering signal at the tracking position has been completely eliminated in the proposed controller.

#### 4. SIMULATION RESULTS

Adopting control algorithm for three-link robot manipulator. Matlab software is used to study the control algorithm proposed by simulation. The parameter of the robot arm is shown as follows:

$$l_2 = 0.5m; l_3 = 0.5m; r_2 = 0.25m; r_3 = 0.25;$$

$$m_2 = 10kg; m_3 = 10kg; I_1 = 0.08kg\ m^2;$$

$$I_2 = 0.12kg\ m^2; I_3 = 0.12kg\ m^2.$$

The designed tracking trajectory is

$$q_{d1} = 0.1 \sin t; q_{d2} = 0.1 \sin t; q_{d3} = \frac{\pi}{6} \sin t$$

The initial condition is  $q = [0.09, -0.09, 0]$

The parameter values used in the adaptive control system are chosen for the convenience of simulations as follows:

$$\lambda_1 = 2; \lambda_2 = 5; k = 1.5; \beta = 2;$$

$$K_s = \operatorname{diag}[0.1, 0.1, 0.1]$$

The simulation results are shown in the following figures. Figure 7 shows the approximate  $\hat{y}$  of the multi input fuzzy controller when compared to the actual  $y$ . Figures 8 and 9 show the tracking trajectory of the fuzzy backstepping sliding mode control and the double-fuzzy backstepping sliding mode control respectively. Figures 10 and 11 show the control efforts of the fuzzy backstepping sliding mode control and the double-fuzzy backstepping sliding mode control respectively.

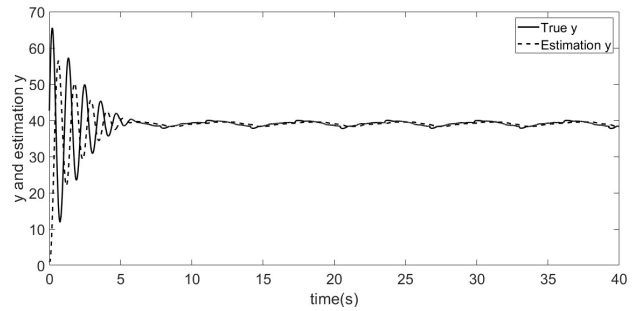


Figure 7.  $y$  and estimation  $y$

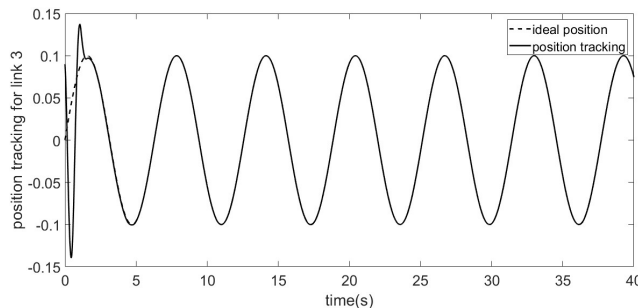
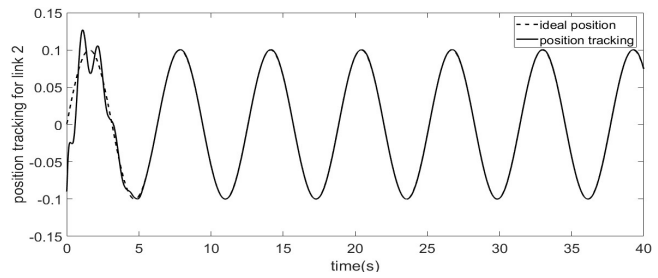
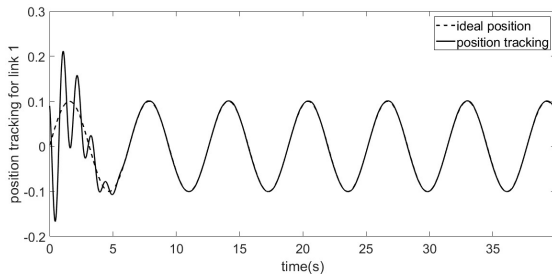


Figure 8. The position tracking of FBSMC controller. Based on the simulation results, some conclusions can be reached as follows. In Figure 8, we can see that  $\hat{y}$  approximates best from 5 s and errors within acceptable range.

From Figures 8 and 9, it can be seen that the FBSMC and DFBSMC both follow the desired trajectory of the IRM. However, compared to the FBSMC control, the DFBSMC control has improved the response and reduced the adjustment time. The link 1 trajectory of

the FBSMC controller almost completely follows the desired trajectory at 6<sup>th</sup> seconds, while the link 2 trajectory of the DFBSMC controller follows the desired trajectory at the 5<sup>th</sup> second. Similarly, the FBSMC controller's link 2 trajectory follows the design trajectory at

5<sup>th</sup> seconds. While the trajectory of link 2 of the dfbsmc controller follows the design trajectory at the 4<sup>th</sup> second. the FBSMC controller's link 3 trajectory follows the design trajectory at 3<sup>th</sup> seconds. While the trajectory of link 3 of the DFBSMC controller follows the design trajectory at the 2<sup>th</sup> second.

From Figure 10 and Figure 11, it can be seen that

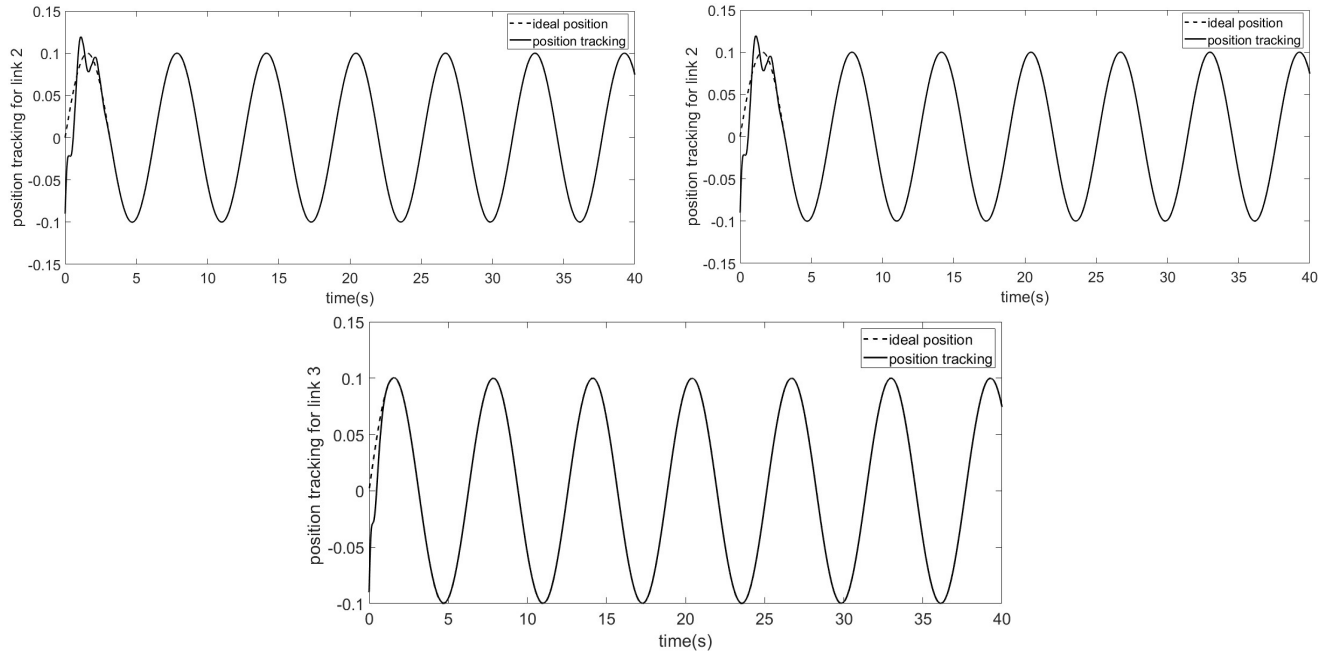


Figure 9. The position tracking of DFBSMC controller

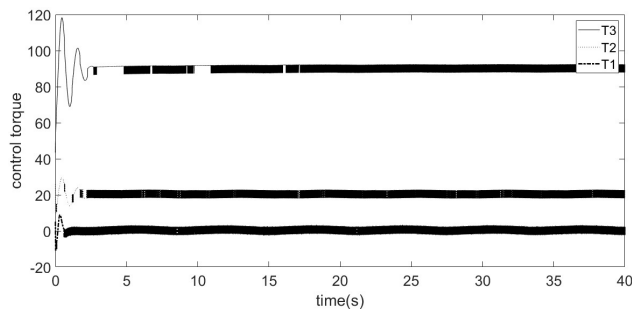


Figure 10. The control torque of FBSMC controller

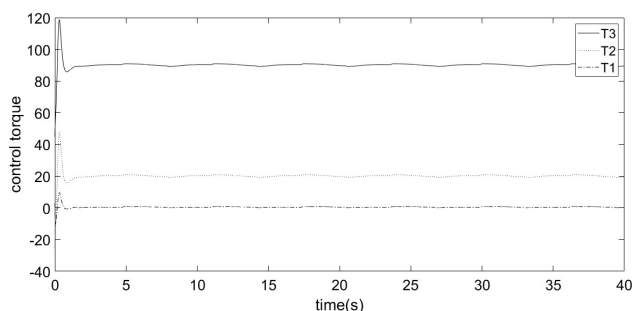
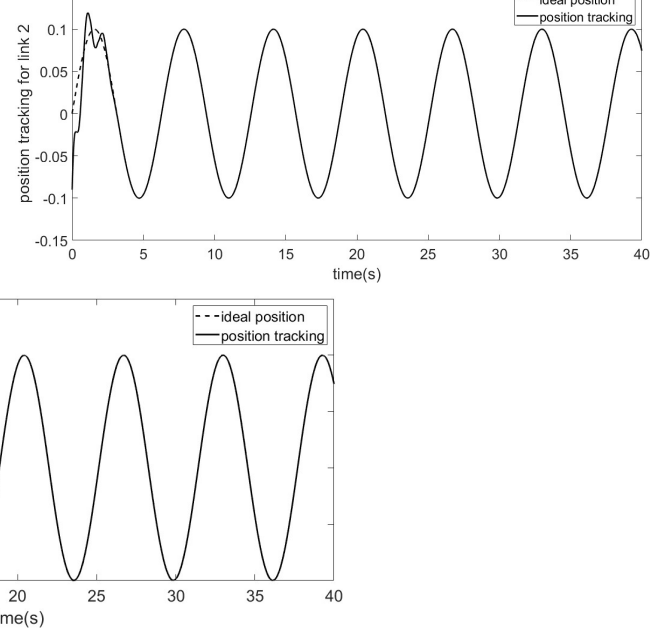


Figure 11. The control torque of DFBSMC controller

## 5. CONCLUSIONS

In this research, a combination of multi-input fuzzy control, single-input fuzzy control, sliding mode control and backstepping control has ensured stability and stability in disturbed and changing environments. By using the stability theory of Lyapunov, the authors have proved that the system is always stable throughout the work-

the chattering signal still exists in the fbsmc controller while the control input of the dfbsmc controller has partially removed the chattering signal. The amplitude of the chattering signal from the control inputs of links 1, 2 and 3 illustrates the ability to eliminate the chattering signal of the DFBSMC controller compared to the FBSMC controller.



space. Moreover, the effectiveness of the controller is also demonstrated through simulation and experiment results when comparing the proposed controller with FBSMC and DFBSMC. The simulation results show that the convergence speed, braking ability, grip error, stability, fast response, overshoot of the proposed controller DFBSMC are better than the FBSMC controller. Currently, microprocessors and microcontrollers perform fast computations, so complex problems are nothing to worry about.

## REFERENCES

- [1]. Jafarov, E.M., Parlakçı, M.N.A., and I Stefanopoulos. Y (2005), *A New Variable Structure PID-Controller Design for Robot Manipulators*, IEEE Trans. on control systems technology, 13 (1), pp 122-130.
- [2]. Al-Qahtani. H.M., Mohammed, Amin A., Sunar, M (2017), *Dynamics and control of a robotic arm having four links*. Arabian journal for Science and Engineering, 42(5), pp. 1841-1852.
- [3]. Mohammad R S, Poooria O, Mohammad H K (2015), *Robust control strategy for electrically driven robot manipulators: Adaptive fuzzy sliding mode*, IET Sci. Meas. Technol. 9(3): 322-334.
- [4]. Han, S., Lee, J (2016), *Finite-time sliding surface constrained control for a robot manipulator with an unknown deadzone and disturbance*, ISA Transactions, vol. 65, pp. 307-318.

- [5]. Cao L. J., Wang Y. C., Zhang S. X. et al (2016), *Robust Adaptive Backstepping Control for a Class of Uncertain Nonlinear System*, Ieee.
- [6]. Lin X., Dong H. R., Yao X. M (2018), *Tuning function-based adaptive backstepping fault-tolerant control for nonlinear systems with actuator faults and multiple disturbances*, Nonlinear Dynamics. 91(4): 2227-2239.
- [7]. Yang H. J., Ye D (2018), *Fixed-time stabilization of uncertain strict-feedback nonlinear systems via a bi-limit-like strategy*, International Journal of Robust and Nonlinear Control. 28(17): 5531-5544.
- [8]. Khorashadizadeh S., Sadeghijaleh M (2018), *Adaptive fuzzy tracking control of robot manipulators actuated by permanent magnet synchronous motors*, Computers & Electrical Engineering, vol. 72, pp. 100-111.
- [9]. Karamali Ravandi, Khanmirza E. and Daneshjou K (2018), *Hybrid force/position control of robotic arms manipulating in uncertain environments based on adaptive fuzzy sliding mode control*, Applied Soft Computing, vol. 70, pp. 864-874.
- [10]. Peng J and Dubay R (2019), *Adaptive fuzzy backstepping control for a class of uncertain nonlinear strict-feedback systems based on dynamic surface control approach*, Expert Systems with Applications, vol. 120, pp. 239-252.
- [11]. He J., Luo M., Zhang Q., Zhao J and Xu L (2016), *Adaptive Fuzzy Sliding Mode Controller with Nonlinear Observer for Redundant Manipulators Handling Varying External Forc*, Journal of Bionic Engineering. vol. 13, pp. 600-611.

## AUTHORS INFORMATION



### Pham Cong Tao

- In 2020: Graduated with a PhD in Electrical Engineering Systems and Systems from Southern Polytechnic University of Russia.
- Current job summary: Lecturer, Faculty of Electrical Engineering, Sao Do University.
- Areas of interest: electrical engineering, electrical systems, electrical automation.
- Phone: 0336791663                      Email: tao.phamcong@gmail.com



### Tran Thi Diep

- In 2010: she has worked at the electrical Department Faculty of Electrical Engineering, Sao Do University, as a Full Lecturer.
- She is currently working toward a Ph.D. degree at the College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, China.
- Her current research interests include control nonlinear systems including SIMO and MIMO and control of distributed generation systems using renewable energy sources.
- Phone: 0374700015                      Email: phuongdiep222@hnu.edu.cn.



### Nguyen Thi Thao

- In 2011: Graduated with a Master's degree in automatic measurement and control engineering, Hanoi University of Science and Technology.
- Current job summary: Lecturer, Faculty of Electrical Engineering, Sao Do University.
- Area of interest: Automation.
- Phone: 0967269366                      Email: ngthithao172@gmail.com.



### Nguyen Trung Huy

- In 2004: Graduated with Master's degree in Automation from Hanoi University of Science and Technology.
- Current job summary: Lecturer, Faculty of Electrical Engineering, Sao Do University.
- Areas of interest: Logic and PLC control, Microprocessor - microcontroller, Power electronics, electrical systems, electrical automation.
- Phone: 0984852180                      Email: trunghuykd73@gmail.com