

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP



**ĐẶNG NGỌC TRUNG**

**PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO  
HỆ THAO TÁC TỪ XA MỘT CHỦ MỘT TÓ  
(TELEOPERATION-SMSS)**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**THÁI NGUYÊN - 2017**

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP



**ĐẶNG NGỌC TRUNG**

**PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN CHO  
HỆ THAO TÁC TỪ XA MỘT CHỦ MỘT TÓ  
(TELEOPERATION-SMSS)**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hoá  
Mã số: 62. 52. 02. 16

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Cán bộ hướng dẫn 1**

**Cán bộ hướng dẫn 2**

**TS. Đỗ Trung Hải**

**TS. Đỗ Đức Nam**

**THÁI NGUYÊN - 2017**

ru  
m  
ất

## LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình làm luận án, thực sự đã có những lúc khó khăn, tưởng chừng như không thể tiếp tục, nhờ nhận được sự động viên, giúp đỡ của người thân, bạn bè đồng nghiệp, thầy giáo hướng dẫn và tập thể các nhà khoa học, tôi đã có được kết quả hôm nay. Tôi xin được trân trọng gửi lời cảm ơn đến tất cả. Cảm ơn những người thầy, người bạn đã đồng hành, giúp đỡ, chia sẻ cùng tôi trong giai đoạn khó khăn, vất vả nhất của chặng đường luận án.

Cũng qua đây, tôi xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các thầy giáo hướng dẫn TS. Đỗ Trung Hải – Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp –ĐH Thái Nguyên và TS. Đỗ Đức Nam –Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tận tình, dìu dắt và định hướng cho tôi trong suốt thời gian qua. Tôi cũng xin được gửi lời cảm ơn sâu sắc và kính trọng đến các thầy cô giáo, các đồng nghiệp trong Khoa Điện, tập thể các nhà khoa học, đã đóng góp những ý kiến quý báu về chuyên môn, quan tâm, tạo điều kiện thuận lợi, giúp đỡ về công việc và thời gian. Cảm ơn Bộ môn Kỹ thuật Điện, Khoa Điện, Viện nghiên cứu phát triển công nghệ cao về kỹ thuật công nghiệp, Trung tâm thí nghiệm, các Phòng ban của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên đã nhiệt tình, tạo điều kiện trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Hơn hết, tôi muốn được nói lời cảm ơn đến bố mẹ, anh chị, vợ và con gái đã luôn luôn bên tôi, hết lòng quan tâm, sẻ chia, ủng hộ, động viên tinh thần, tình cảm, tạo điều kiện giúp tôi có nghị lực để hoàn thành quyển luận án này.

Tác giả luận án

**Đặng Ngọc Trung**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
LỜI CẢM ƠN .....	iii
MỤC LỤC.....	iv
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU .....	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	ix
MỞ ĐẦU.....	1
1. Tính cấp thiết của đề tài luận án.....	1
2. Phạm vi, đối tượng nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu .....	2
3. Mục tiêu của luận án .....	2
4. Những đóng góp mới về lý luận và thực tiễn của luận án .....	3
5. Bố cục của luận án .....	3
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	5
1.1. Giới thiệu tổng quan về hệ Teleoperation.....	5
1.1.1. Khái niệm về hệ Teleoperation .....	5
1.1.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới về hệ Teleoperation .....	7
1.1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước về hệ Teleoperation .....	13
1.1.4. Các cấu trúc điều khiển hệ Teleoperation .....	13
1.2. Tính chính xác và đồng nhất trong hệ Teleoperation (Transparency in Teleoperation Systems).....	15
1.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định và chất lượng hệ Teleoperation.....	16
1.4. Tính đặc thù và những khó khăn khi tổng hợp hệ Teleoperation và đề xuất hướng giải quyết trong luận án.....	18
1.5. Kết luận Chương 1 .....	22
CHƯƠNG 2	23
XÂY DỰNG CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ THỐNG THAO TÁC TỪ XA (TELEOPERATION-SMSS)	23
2.1. Cơ sở lý thuyết điều khiển hiện đại	23
2.1.1 Khái niệm về ổn định tiệm cận đều và ổn định theo hàm mũ.....	23
2.1.2 Khái niệm về ổn định ISS .....	29

2.1.3	Lý thuyết chung về điều khiển trượt ( <i>Sliding mode control</i> ).....	30
2.1.4	Điều khiển thích nghi ISS .....	35
2.2.	Tổng hợp bộ điều khiển thích nghi bền vững cho hệ thống thao tác từ xa (Teleoperation-SMSS) .....	37
2.3.	Mô phỏng điều khiển hệ thống từ xa (Teleoperation-SMSS) trên Matlab-Simulink .....	57
2.4.	Kết luận Chương 2 .....	81
CHƯƠNG 3		83
MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN ĐÃ ĐỀ XUẤT CHO HỆ THAO TÁC TỪ XA (TELEOPERATION-SMSS)		83
3.1.	Sơ đồ khối ghép nối điều khiển hệ thống thao tác từ xa qua máy tính và Card DSP1103.....	83
3.2.	Sơ đồ kết nối vật lý cho một khớp (1 động cơ) của Robot chủ/Robot tớ với Card DSP1103.....	84
3.3.	Sơ đồ nguyên lý điều khiển hệ Teleoperation SMS.....	84
3.4.	Sơ đồ các khối ghép nối trên Matlab Simulink kết nối với DSP1103 và hệ SMSS thực.....	87
3.5.	Sơ đồ ghép nối thực điều khiển hệ thống Teleoperation-SMSS qua máy tính.....	90
3.6.	Kết quả điều khiển thực hệ SMSS qua card DSP1103 và phần mềm Control Desk.....	91
3.7.	Kết luận chương 3 .....	97
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....		98
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....		99
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		100
PHỤ LỤC.....		109

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

### Danh mục các ký hiệu

$T$	thời gian trễ trên kênh truyền thông
$s(e)$	mặt trượt
$\underline{x}(t)$	trạng thái quỹ đạo tự do
$\mathbf{M}_i$	ma trận quán tính xác định dương
$\mathbf{C}_i$	ma trận criolit và lực hướng tâm
$\mathbf{J}_i$	ma trận Jacobi
$q_i$	góc quay khớp $i$
$m_i$	khối lượng khâu $i$
$l_i$	chiều dài khâu $i$
$\lambda_i$	mômen quán tính với tâm đi qua trọng tâm khâu $i$
$r_i$	khoảng cách từ tâm khớp đến trọng tâm khâu $i$
$F_i$	ngoại lực đặt tại khớp $i$
$B_i$	độ giảm chấn tại khớp $i$
$\tau_i$	mômen đầu vào các Robot
$\mathbf{F}_{op}$	lực tác động lên Master do người thao tác
$\mathbf{F}_e$	phản lực từ môi trường lên Slave
$\mathbf{G}_i$	véc tơ lực trọng trường
$\tau_{op}$	mômen lực tác động lên Master do người thao tác
$\tau_e$	mômen phản lực từ môi trường lên Slave
$\dot{\phi}_i$	véc tơ vận tốc góc khớp $i$
$\dot{\theta}_i$	véc tơ gia tốc góc khớp $i$
$\tau_{Ni}$	các thành phần nhiễu tác động lên các khớp
$\hat{\tau}_{Ni}$	các thành phần nhiễu đánh giá tác động lên các khớp
$\Delta_i$	sai số đánh giá nhiễu tác động lên các Robot
$u_{seq}$	tín hiệu điều khiển tương đương lên Slave
$e$	sai lệch quỹ đạo
$\mathbf{A}_i; \mathbf{K}_s; \Gamma_P; \Gamma_I$	các ma trận đường chéo xác định dương

$O_m; O_m^*; O$	các miền hội tụ (hay miền hấp dẫn)
-----------------	------------------------------------

### Danh mục các chữ viết tắt tiếng việt

MHRM	Mô hình Robot chủ
MHRS	Mô hình Robot tớ
BĐK	Bộ điều khiển
XLNS	Xử lý nhiều Robot tớ
XLNM	Xử lý nhiều Robot chủ
ULNS	Ước lượng nhiều Robot tớ
ULNM	Ước lượng nhiều Robot chủ
ARSM-SC	Cấu trúc điều khiển thích nghi bền vững sử dụng chế độ trượt cho Robot tớ
ISS-MC	Cấu trúc điều khiển thích ISS cho Robot chủ

### Danh mục các chữ viết tắt tiếng anh

SMSS	Single Master Single Slave
SMMS	Single Master Multiple Slaves
MSMM	Multiple Masters Multiple Slaves
ISS	Input-to-state stability

**DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU**

Bảng 1. Thông số vật lý mô phỏng của Robot chủ/Robot tớ .....	62
Bảng 2. Thông số mô phỏng của bộ điều khiển Robot chủ.....	76
Bảng 3. Thông số mô phỏng của bộ điều khiển Robot tớ .....	76
Bảng 4. Thông số vật lý thực của Robot chủ/Robot tớ .....	84
Bảng 5. Thông số thực nghiệm của bộ điều khiển Robot chủ.....	85
Bảng 6. Thông số thực nghiệm của bộ điều khiển Robot tớ .....	85



## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình1.1. Mô hình hệ thống Teleoperation .....	6
Hình1.2. Minh họa cấu trúc điều khiển 2 kênh trong tài liệu [38]. .....	14
Hình1.3. Minh họa cấu trúc điều khiển 2 kênh trong tài liệu [85]. .....	15
Hình1.4. Minh họa cấu trúc điều khiển 4 kênh trong tài liệu [65]. .....	15
Hình 2.1. Tạo họ các đường cong kín bao quanh gốc bằng đường đồng mức của hàm xác định dương.....	24
Hình 2.2. Véc tơ gradien của $V(x)$ .....	25
Hình 2.3. Minh họa miền hấp dẫn và khái niệm ổn định ISS .....	30
Hình 2.4. Nhiệm vụ của bài toán điều khiển trượt .....	32
Hình 2.5. Điều khiển trượt bằng phản hồi đầu ra .....	33
Hình 2.6. Hiện tượng rung và nguyên nhân của hiện tượng rung (chattering) .....	34
Hình 2.7. Thay khâu Relay hai vị trí bằng khâu khuếch đại bão hòa để giảm.....	35
Hình 2.8. Sơ đồ cấu trúc của bộ ước lượng tác động của môi trường lên Robot tó .....	40
Hình 2.9. Sơ đồ cấu trúc điều khiển cho Robot tó .....	45
Hình 2.10. Thành phần nhiễu $\tau_{e1}^*$ dạng sin .....	67
Hình 2.11. Thành phần nhiễu $\tau_{e2}^*$ dạng sin .....	67
Hình 2.12. Thành phần nhiễu $\tau_{e1}^*$ dạng bất kỳ.....	67
Hình 2.13. Thành phần nhiễu $\tau_{e2}^*$ dạng bất kỳ .....	68
Hình 2.14. Quỹ đạo q1 của Robot tó khi không bù nhiễu $\tau_e^*$ .....	68
Hình 2.15. Quỹ đạo q2 của Robot tó khi không bù nhiễu $\tau_e^*$ .....	68
Hình 2.16. Quỹ đạo q1 của Robot tó khi đã bù nhiễu $\tau_e^*$ .....	69
Hình 2.17. Quỹ đạo q2 của Robot tó khi đã bù nhiễu $\tau_e^*$ .....	69
Hình 2.18. Sơ đồ cấu trúc ước lượng nhiễu bất định tác động lên Robot chủ .....	47
Hình 2.19. Sơ đồ cấu trúc điều khiển Robot chủ.....	50
Hình 2.20. Quỹ đạo q1 của Robot chủ khi không bù nhiễu $\tau_{Nm}$ .....	74
Hình 2.21. Quỹ đạo q2 của Robot chủ khi không bù nhiễu $\tau_{Nm}$ .....	74
Hình 2.22. Quỹ đạo q2 của Robot chủ khi đã bù nhiễu $\tau_{Nm}$ .....	74
Hình 2.23. Quỹ đạo q2 của Robot chủ khi đã bù nhiễu $\tau_{Nm}$ .....	75

Hình 2.24. Sơ đồ cấu trúc hệ thống thao tác từ xa trên cơ sở bộ điều khiển thích nghi kháng nhiễu, bền vững sử dụng chế độ trượt .....	56
Hình 2.25. Sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ thao tác từ xa (Teleoperation-SMSS) trên Matlab-Simulink .....	77
Hình 2.26. Thành phần tác động của môi trường $\hat{\tau}_{e1}^*$ .....	78
Hình 2.27. Thành phần tác động của môi trường $\hat{\tau}_{e2}^*$ .....	78
Hình 2.28. Thành phần quỹ đạo $q_1$ .....	78
Hình 2.29. Thành phần quỹ đạo $q_2$ của Robot.....	79
Hình 2.30. So sánh quỹ đạo $q_1$ của Robot chủ và Robot tớ khi đã bù trừ thành phần $\hat{\tau}_e^*$ .....	79
Hình 2.31. So sánh quỹ đạo $q_2$ của Robot chủ và Robot tớ khi đã bù trừ thành phần $\hat{\tau}_e^*$ .....	79
Hình 2.32. Thành phần mômen $\tau_{op1}$ .....	80
Hình 2.33. Thành phần mômen $\tau_{op2}$ .....	80
Hình 2.34. Thành phần quỹ đạo $q_1$ của Robot.....	80
Hình 2.35. Thành phần quỹ đạo $q_2$ của Robot.....	81
Hình 3.1. Sơ đồ ghép nối điều khiển hệ SMSS qua máy tính và Card DSP1103 .....	83
Hình 3.2. Sơ đồ ghép nối vật lý cho một khớp của Robot với Card DSP1103 .....	84
Hình 3.3. Sơ đồ nguyên lý điều khiển cho hệ Teleoperation SMSS qua card DSP1103 và máy tính.....	86
Hình 3.4. Sơ đồ ghép nối trên Matlab Simulink kết nối với DSP1103 và hệ SMSS thực.....	87
Hình 3.5. Khối bộ điều khiển Slave .....	87
Hình 3.6. Khối bộ điều khiển Master .....	88
Hình 3.7. Khối xuất tín hiệu PWM cho mạch điều khiển và đo dòng điện .....	88
Hình 3.8. Khối thu thập dữ liệu động học thực của Master .....	89
Hình 3.9. Khối thu thập dữ liệu động học thực của Slave.....	89
Hình 3.10. Mô hình ghép nối thực giữa hệ SMSS với DSP1103 và mạch điều khiển.....	90
Hình 3.11. Mạch đo tín hiệu dòng và mạch điều khiển tốc độ động cơ.....	90