

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

**NGHIÊN CỨU
ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN CÓ
PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI DẠNG SUY BIẾN
BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ**

Ngành: TỰ ĐỘNG HÓA

Mã số:

Học viên: NGÔ PHƯƠNG THANH

Người HD Khoa học: PGS.TS. NGUYỄN HỮU CÔNG

THÁI NGUYÊN – 2011

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành chương trình cao học và thực hiện viết luận văn này, tôi đã nhận được sự hướng dẫn, giúp đỡ và góp ý nhiệt tình của quý Thầy, Cô giáo trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, cùng một số Trường, Viện khác.

Trước hết, tôi xin chân thành cảm ơn đến quý Thầy, Cô giáo trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, cùng một số Trường, Viện khác, đặc biệt là những thầy cô đã trực tiếp tận tình hướng dẫn tôi suốt thời gian học tập tại trường.

Tôi xin gửi lời biết ơn sâu sắc đến Phó giáo sư – Tiến sĩ Nguyễn Hữu Công đã dành rất nhiều thời gian và tâm huyết hướng dẫn nghiên cứu và giúp tôi hoàn thành luận văn tốt nghiệp.

Đồng thời, tôi cũng xin cảm ơn quý đồng nghiệp, bạn cùng lớp Cao học khóa K12 - TĐH đã tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập cũng như đóng góp những ý kiến quý báu giúp tôi hoàn thành bản luận văn này.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến những thành viên trong đại gia đình, chồng và con trai tôi, những người luôn sát cánh đồng viên tôi về cả tinh thần và vật chất, giúp tôi hoàn thành khóa học cũng như bản luận văn này.

Mặc dù tôi đã có nhiều cố gắng hoàn thiện bản luận văn này bằng tất cả sự nhiệt tình và năng lực của mình, tuy nhiên không thể tránh khỏi những thiếu sót, rất mong nhận được những đóng góp quý báu của quý Thầy, Cô giáo và các bạn.

Thái Nguyên, tháng 09 năm 2011

Tác giả

Ngô Phương Thanh

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là đề tài do tôi thực hiện. Các kết quả trong luận văn là trung thực và chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào của các tác giả khác. Tất cả các tài liệu tham khảo đều có nguồn gốc, xuất xứ rõ ràng.

Nếu sai tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm.

Thái Nguyên, ngày 20 tháng 09 năm 2011

Tác giả

Ngô Phương Thanh

TÓM TẮT LUẬN VĂN

Tóm tắt: Nghiên cứu phương pháp số trong điều khiển tối ưu cho hệ thống động nói chung và điều khiển tối ưu suy biến nói riêng luôn là vấn đề thời sự trong kỹ thuật điều khiển tự động bởi các hệ thống cần được điều khiển ngày càng phức tạp hơn. Phương pháp giải tựa (giả) tuần tự (Quasi-Sequential Approach QS-SQA) cùng với phương pháp rời rạc hóa collocation trực giao được coi là một phương pháp tiên tiến mà có thể được áp dụng cho những bài toán điều khiển tối ưu suy biến phức tạp có kích thước tương đối lớn. Ưu điểm chính của phương pháp này là việc làm giảm đáng kể kích thước của bài toán tối ưu bằng cách đưa vào một lớp bài toán mô phỏng (Simulation) để tiến hành giải hệ phương trình vi phân thường (ODEs) hoặc hệ phương trình vi phân đại số cấp 1 (DAEs) mô tả hệ thống động cần được điều khiển. Mục tiêu của luận văn này là nghiên cứu những vấn đề lý thuyết về tối ưu động nói chung, về điều khiển tối ưu suy biến nói riêng; sau đó phát triển gói phần mềm sử dụng phương pháp QS-SQA kết hợp với phần mềm giải bài toán tối ưu phi tuyến thông thường IPOPT cho bài toán điều khiển tối ưu suy biến. Gói phần mềm này sẽ tự động tiến hành việc rời rạc hóa mô hình bài toán dạng phương trình DAEs hoặc ODEs mô tả hệ thống do người sử dụng cung cấp, sau đó tiến hành giải bài toán tối ưu tĩnh vừa được hình thành bằng phương pháp tối ưu điểm trong IP (Interior Point). Phương pháp rời rạc hóa biến điều khiển bằng các đoạn hằng số (piece-wise constant) đã được sử dụng trong luận văn này cũng phù hợp với phương pháp điều khiển số hiện hành. 06 ví dụ từ đơn giản đến phức tạp trong điều khiển tối ưu suy biến đã được dùng để minh họa thuật toán và so sánh với các phương pháp điều khiển khác.

Từ khóa: tối ưu động, điều khiển tối ưu suy biến, hệ phương trình vi phân đại số, collocation trực giao, phương pháp tựa tuần tự, tối ưu phi tuyến, phương pháp tối ưu điểm trong.

MỤC LỤC

	Trang
Lời cảm ơn	i
Lời cam đoan	ii
Tóm tắt luận văn	iii
Mục lục	iv
Danh mục hình vẽ	vii
Danh mục các chữ viết tắt	viii
Lời nói đầu	ix
Chương 1. BÀI TOÁN TỐI ƯU TỔNG QUÁT	1
1.1 Giới thiệu và phân loại bài toán tối ưu	1
1.1.1 Giới thiệu chung	1
1.1.2 Phân loại bài toán tối ưu	2
1.2 Bài toán tối ưu tĩnh	5
1.2.1 Khái niệm	5
1.2.2 Bài toán tối ưu phi tuyến liên tục	7
1.2.3 Phương pháp SQP với tập giới hạn tích cực (AS-SQP)	8
1.2.4 Phương pháp SQP điểm trong (IP-SQP)	9
1.2.5 Những so sánh giữa hai phương pháp AS-SQP và IP-SQP	11
1.3 Bài toán tối ưu động	12
1.3.1 Khái niệm	13
1.3.2 Các phương pháp gián tiếp	13
1.3.2.1 Phương pháp biến phân	13
1.3.2.2 Phương pháp quy hoạch động Bellman	17
1.3.2.3 Nguyên lý cực đại Pontryagin	21
1.3.3 Các phương pháp trực tiếp	28
1.3.3.1 Các cơ sở toán học	28

Phương pháp collocation trực giao	28
Phương pháp Newton-Raphson	30
1.3.3.2 Phương pháp đồng thời (Simultaneous Approach)	31
1.3.3.3 Phương pháp tuần tự (Sequential Approach)	33
1.3.3.4 Phương pháp tựa tuần tự (Quasi-Sequential Approach QS-SQA)	35
Chương 2. PHƯƠNG PHÁP SỐ GIẢI BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU CHO HỆ CÓ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI SUY BIẾN	39
2.1 Bài toán điều khiển tối ưu	39
2.1.1 Khái niệm	39
2.1.2 Phân loại	40
2.1.3 Giải bài toán điều khiển tối ưu liên tục	41
2.2 Bài toán điều khiển tối ưu suy biến	42
2.2.1 Khái niệm	42
2.2.2 Các đặc điểm	42
2.3 Lựa chọn phương pháp giải và phần mềm	43
2.3.1 Lựa chọn phương án IP-SQP	43
2.3.2 Phần mềm IPOPT	45
2.3.2.1 Method <code>get_nlp_info</code>	46
2.3.2.2 Method <code>get_bounds_info</code>	47
2.3.2.3 Method <code>get_starting_point</code>	48
2.3.2.4 Method <code>eval_f</code>	49
2.3.2.5 Method <code>eval_grad_f</code>	49
2.3.2.6 Method <code>eval_g</code>	50
2.3.2.7 Method <code>eval_jac_g</code>	51
2.3.2.8 Method <code>eval_h</code>	52
2.3.2.9 Method <code>finalize_solution</code>	54
2.3.2.10 Hàm <code>main()</code>	55
Chương 3. CÁC VÍ DỤ MINH HỌA & KẾT QUẢ MÔ PHỎNG	56

3.1 Ví dụ minh họa	56
3.1.1 Ví dụ 1	56
3.1.2 Ví dụ 2	58
3.1.3 Ví dụ 3	60
3.1.4 Ví dụ 4	60
3.1.5 Ví dụ 5	63
3.1.6 Ví dụ 6	65
3.2 Nhận xét	67
Chương 4. KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ	68
4.1 Kết luận	68
4.2 Một số kiến nghị về hướng nghiên cứu tiếp theo	68
TÀI LIỆU THAM KHẢO	70

DANH MỤC HÌNH VẼ

	Trang
Hình 1.1: Sơ đồ tổng quan bài toán tối ưu	3
Hình 1.2: Sơ đồ hình cây của bài toán tối ưu tĩnh tổng quát	5
Hình 1.3: Đồ thị của bài toán 1.1	6
Hình 1.4: Hàm chuyển đổi mẫu và bộ điều khiển tối ưu	24
Hình 1.5: Phương pháp rời rạc hóa Radau collocation (NC=3)	29
Hình 1.6: Sơ đồ tổng quan phương pháp giải đồng thời.....	33
Hình 1.7: Sơ đồ tổng quan phương pháp giải lần lượt.....	34
Hình 1.8: Sơ đồ tổng quan phương pháp giải tựa lần lượt.....	35
Hình 3.1: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái và điều khiển (ví dụ 1).....	58
Hình 3.2a: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái và điều khiển (ví dụ 2).....	59
Hình 3.2b: Tín hiệu điều khiển với $J_{\min}=0.2683938$ trong [18] (ví dụ 2).....	59
Hình 3.3a: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái và điều khiển (ví dụ 3).....	61
Hình 3.3b: Tín hiệu biến điều khiển với $J_{\min}=0.7539845$ trong [18] (ví dụ 3)...	61
Hình 3.4a: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái và điều khiển (ví dụ 4).....	62
Hình 3.4b: Tín hiệu biến điều khiển với $J_{\min}=1.2521134$ trong [18] (ví dụ 4)..	62
Hình 3.5a: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái (ví dụ 5).....	63
Hình 3.5b: Đồ thị tín hiệu biến điều khiển (ví dụ 5).....	64
Hình 3.5c: Tín hiệu biến điều khiển với $J_{\min}=0.11928$ trong [18] (ví dụ 5).....	64
Hình 3.6a: Đồ thị tín hiệu biến trạng thái (ví dụ 6).....	66
Hình 3.6b: Đồ thị tín hiệu biến điều khiển (ví dụ 6).....	66
Hình 3.6c: Tín hiệu biến điều khiển với $J_{\min}=2.335 \times 10^{-9}$ trong [18] (ví dụ 6)...	67

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

I. Tiếng Việt

BTQHPT	bài toán quy hoạch phi tuyến
BTQHL	bài toán quy hoạch lồi
BTQHTP	bài toán quy hoạch toàn phương
BTQH TT	bài toán quy hoạch tuyến tính

II. Tiếng Anh

AEs	Algebraic Equations - hệ phương trình đại số
AS	Active Set – tập tích cực
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor - bể phản ứng trộn liên tục
DAEs	Differential Algebraic Equations - hệ phương trình vi phân-đại số
IDM	Iterative Dynamic Programming – quy hoạch động lặp
IP	Interior Point – điểm trong
KKT	Karush–Kuhn–Tucker
NLP	NonLinear Programming – quy hoạch (tối ưu) phi tuyến
NMPC	Nonlinear Model Predictive Control – điều khiển dự báo mô hình phi tuyến
ODEs	Ordinary Differential Equations hệ phương trình vi phân thường
QP	Quadratic Programming – tối ưu toàn phương
QS-SQA	Quasi-Sequential Approach - Phương pháp tựa tuần tự
SQP	Sequential Quadratic Programming – tối ưu toàn phương liên tiếp
SMA	Simultaneous Approach - Phương pháp giải đồng thời
SQA	Sequential Approach - Phương pháp giải tuần tự

