

NGUYỄN DOÃN PHƯỚC

TỦ SÁCH NGÀNH
ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

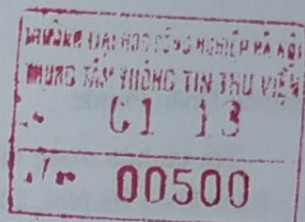
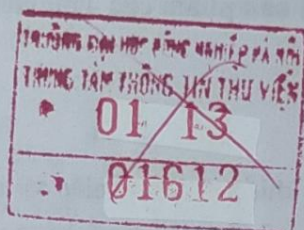
TỐI ƯU HÓA TRONG ĐIỀU KHIỂN VÀ ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU



NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI

Nguyễn Doãn Phước

TỐI ƯU HÓA TRONG ĐIỀU KHIỂN và ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU



NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA HÀ NỘI

Author: **Nguyen Doan Phuoc**

Prof. of Department of Automatic Control, Hanoi University of Science and Technology.

Title: **Optimization in Control and optimal Control**

This book aims to provide basic knowledges of optimization and optimal control. It presents not only the conceptual basis of theory but also their applications in controller design. Many examples are given in the book to illustrate the theory.

This book is the product of several courses given by the author at the Hanoi University of Science and Technology (HUST). It is written for control engineering students and master students in Universities as a course – and self study textbook.

Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam

Nguyễn Doãn Phước

Tối ưu hóa trong điều khiển và điều khiển tối ưu / Nguyễn Doãn Phước. -
H. : Bách khoa Hà Nội, 2016. - 348tr. : hình vẽ, bảng ; 24cm

Thư mục: tr. 344

ISBN 978-604-93-8764-7

1. Điều khiển tối ưu 2. Kỹ thuật điều khiển

629.8 - dc23

BKF0080p-CIP

Mục lục

1	Những công cụ toán học	9
1.1	Ma trận	9
1.1.1	Không gian tuyến tính và ánh xạ tuyến tính	9
	Cấu trúc đại số và không gian tuyến tính	13
	Ánh xạ tuyến tính và ma trận	14
	Phép biến đổi tương đương	16
1.1.2	Các phép tính cơ bản trên (đại số) ma trận	16
	Một số ma trận đặc biệt	17
	Ba phép tính tạo nên đại số ma trận	18
	Định thức	19
	Hạng của ma trận	20
	Giá trị riêng và vector riêng	21
	Chuẩn của vector và ánh xạ tuyến tính (ma trận)	23
1.1.3	Một số phép biến đổi ma trận hữu ích	24
	Biến đổi thành các ma trận tam giác	24
	Phép biến đổi phân ly và trực giao	25
	Phép chiếu lên không gian vector con	26
	Nghịch đảo ma trận	28
1.2	Không gian hàm số và mô hình hệ thống	28
1.2.1	Những cấu trúc không gian hàm số thường gặp	28
	Không gian metric	29
	Không gian đủ	29
	Không gian compact	30
	Không gian chuẩn	30
	Không gian Banach	30
	Không gian Hilbert	31
	Không gian các ánh xạ liên tục	32
1.2.2	Mô hình toán mô tả hệ thống	32
	Mô hình trạng thái hệ tuyến tính	33
	Mô hình trạng thái hệ phi tuyến	36
1.3	Tập lồi và hàm lồi	36
1.3.1	Tập lồi và tính chất của tập lồi	36
1.3.2	Hàm lồi và tính chất của hàm lồi	38
	Câu hỏi ôn tập và bài tập	40
2	Tối ưu hóa trong điều khiển hệ tiền định	43
2.1	Giới thiệu chung	43
2.1.1	Bài toán tối ưu hóa	43
2.1.2	Một số ví dụ về bài toán tối ưu hóa trong điều khiển	45

2.2 Quy hoạch phi tuyến	52
2.2.1 Nhóm phương pháp tìm có hướng cho bài toán không ràng buộc	53
Phương pháp gradient	55
Phương pháp Newton-Raphson	57
Phương pháp tựa Newton (quasi Newton)	60
Phương pháp Gauss-Newton	62
Xác định khoảng cách bước tìm theo nguyên tắc thu nhỏ khoảng nghiệm	64
Điều kiện Wolf cho việc xác định khoảng cách bước tìm	67
2.2.2 Nhóm phương pháp không sử dụng hướng tìm cho bài toán tối ưu không ràng buộc	69
Phương pháp Levenberg-Marquardt	69
Phương pháp miền tin cậy (trust region)	72
2.2.3 Phương pháp tìm nghiệm bài toán tối ưu có điều kiện ràng buộc	74
Kỹ thuật hàm chặn	74
Kỹ thuật hàm phạt	75
Phương pháp Lagrange	77
Điều kiện Kuhn-Tucker và ứng dụng	78
Phương pháp thay thế biến độc lập	83
Phương pháp hình chiếu gradient	84
Phương pháp QP (quadratic programming)	85
Phương pháp SQP (sequential quadratic programming)	91
2.3 Tối ưu lồi	95
2.3.1 Quy hoạch tuyến tính	98
Những vấn đề chung	98
Bài toán chuẩn (BTC)	100
Phương pháp đơn hình (simplex)	103
2.3.2 Phương pháp interior point (điểm trong)	110
Sử dụng kỹ thuật hàm chặn	110
Sử dụng kỹ thuật hàm Lagrange	112
2.4 Các ứng dụng trong điều khiển	113
2.4.1 Điều khiển dự báo hệ tuyến tính	113
Phương pháp MAC (điều khiển dự báo theo mô hình)	114
Phương pháp DMC (ma trận động học điều khiển)	117
Phương pháp GPC	119
Điều khiển GPC thích nghi	123
Điều khiển dự báo phản hồi trạng thái	125
2.4.2 Điều khiển dự báo phản hồi trạng thái hệ song tuyến	131
Điều khiển ổn định	131
Điều khiển bám tín hiệu mẫu ở đầu ra	133
2.4.3 Thiết kế bộ điều khiển tối ưu	134
Điều khiển bền vững	134
Điều khiển thích nghi	142
2.4.4 Quan sát trạng thái tối ưu	145
Nguyên tắc chung	145
Cài đặt bộ quan sát trạng thái tối ưu cho hệ song tuyến	147
Câu hỏi ôn tập và bài tập	150

3 Điều khiển tối ưu hệ tiến định

153

3.1 Nhập môn

153

3.1.1 Nhiệm vụ của điều khiển tối ưu 153

Bài toán điều khiển tối ưu hệ liên tục 156

Bài toán điều khiển tối ưu hệ không liên tục 160

3.1.2 Phương trình Euler-Lagrange 160

Xây dựng mô hình tự trị các hệ cơ 162

Tính chất tối ưu của phương trình Euler-Lagrange (3.10) 165

3.2 Phương pháp biến phân

166

3.2.1 Hàm Hamilton và tính chất biến phân 166

Biến động trạng thái và điều kiện cần 171

Tính chất của hàm Hamilton dọc theo quỹ đạo tối ưu 174

So sánh với phương trình Euler-Lagrange (3.12) 174

3.2.2 Tổng hợp bộ điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu (LQR) cho hệ tuyến tính
tham số hằng 176

Trường hợp thời gian xảy ra quá trình tối ưu là hữu hạn 180

3.2.2.1 Phương pháp tìm nghiệm phương trình vi phân Riccati 181

Trường hợp thời gian xảy ra quá trình tối ưu là vô hạn 184

Bàn về tính ổn định tiệm cận toàn cục của hệ kín 189

Thuật toán tìm nghiệm phương trình đại số Riccati 192

3.2.3 Ứng dụng vào điều khiển dự báo hệ song tuyến 193

Thuật toán điều khiển 195

Tính bám ổn định của hệ kín 196

3.2.4 Biến phân hệ không liên tục 197

Chuyển về bài toán tối ưu tĩnh và sử dụng các phương pháp tối ưu hóa 198

Công thức biến phân hệ không liên tục 198

3.3 Phương pháp quy hoạch động (Bellman)

201

3.3.1 Trường hợp hệ liên tục 201

Nguyên lý tối ưu 201

Nội dung phương pháp 202

So sánh với phương pháp biến phân 205

3.3.2 Trường hợp hệ không liên tục 210

Kỹ thuật nhúng (vòng ngược) 211

Vòng xuôi (xác định dãy giá trị tín hiệu điều khiển tối ưu) 213

Mở rộng cho trường hợp hàm mục tiêu không ở dạng tổng 217

Tổng hợp bộ điều khiển LQR: Trường hợp số bước điều khiển là hữu hạn 219

Tổng hợp bộ điều khiển LQR: Trường hợp số bước điều khiển là vô hạn 223

Áp dụng cho hệ tuyến tính không dừng 223

3.3.3 Một số điều bổ sung 226

Về nguyên lý tối ưu 226

Về bài toán tổng hợp bộ điều khiển LQR hệ liên tục 226

Về tính ổn định của hệ kín sử dụng bộ điều khiển LQR 226

Về khả năng cài đặt bộ điều khiển LQR 226

3.4 Nguyên lý cực đại (Pontryagin)	227
3.4.1 Những gợi ý cơ bản	227
Bài toán điều khiển tối ưu có tập ràng buộc tín hiệu điều khiển là tập đóng	227
Điều khiển tối ưu tác động nhanh đối tượng tuyến tính	231
Xây dựng quỹ đạo trạng thái tối ưu tác động nhanh	235
Định lý Feldbaum về số lần chuyển đổi giá trị của tín hiệu điều khiển tối ưu	241
3.4.2 Nội dung nguyên lý cực đại	245
Ba bài toán cơ bản của nguyên lý cực đại	246
Phát biểu nguyên lý cực đại	249
Về vector biến động trạng thái	256
3.4.3 Chứng minh nguyên lý cực đại	259
Nguyên lý tối ưu	260
Biến phân tín hiệu điều khiển tối ưu theo thời gian và không gian	261
Xử lý hiệu ứng biến phân không gian và chứng minh nguyên lý cực đại (3.165)	265
Xử lý hiệu ứng biến phân thời gian và chứng minh công thức (3.167) của định lý 3.15	266
Chứng minh công thức (3.169) của định lý 3.15	266
Chứng minh điều kiện hoành trong định lý 3.16 và định lý 3.17	267
Chứng minh điều kiện đủ trong định lý 3.17	268
3.4.4 Những vấn đề khác xung quanh nguyên lý cực đại	270
Về điều kiện cần và đủ	270
Về lời chứng minh	270
Về hệ mở rộng	271
Ứng dụng vào điều khiển ổn định với khoảng thời gian hữu hạn (FTS)	271
Câu hỏi ôn tập và bài tập	276
4 Tối ưu hóa và điều khiển tối ưu hệ ngẫu nhiên	281
4.1 Nhập môn	281
4.1.1 Khái niệm hệ ngẫu nhiên và độ đo thông tin ngẫu nhiên	281
Quá trình ngẫu nhiên	281
Độ đo lượng thông tin có trong nguồn phát tín hiệu ngẫu nhiên	285
Hệ ngẫu nhiên	286
4.1.2 Phép biến đổi Fourier rời rạc	287
Chuỗi Fourier (cho tín hiệu tuần hoàn)	287
Phép biến đổi Fourier liên tục	288
Phép biến đổi Fourier không liên tục	291
Phép biến đổi Fourier rời rạc	292
4.2 Nhận dạng mô hình hệ thống	294
4.2.1 Nhận dạng trực tuyến mô hình không tham số hệ tuyến tính	294
Nhận dạng hàm đặc tính tần	295
Nhận dạng hàm tương quan và hàm mật độ phổ	296
Thuật toán nhận dạng mô hình không tham số	297
4.2.2 Nhận dạng chủ động tham số mô hình AR	298
Phương trình Yule-Walker và thuật toán Levinson	298
Thuật toán dự báo điều hòa Burg	304
4.2.3 Nhận dạng tham số mô hình ARMA	306
Nhận dạng chủ động tham số MA của mô hình (bài toán 4.3a)	307

Nhận dạng chủ động tham số mô hình ARMA (bài toán 4.3b).....	309
Nhận dạng trực tuyến (online) tham số mô hình ARMA (bài toán 4.3c).....	311
4.2.4 Nhận dạng mô hình trạng thái.....	313
Chuyển sang miền phức bằng phép biến đổi Fourier rời rạc.....	313
Nhận dạng trong không gian con	315
4.3 Thiết kế bộ lọc và bộ quan sát tối ưu	318
4.3.1 Lọc Wiener	318
Nguyên lý trực giao.....	319
Phương trình tích phân Wiener-Hopf và các bước thiết kế bộ lọc Wiener	321
4.3.2 Bộ quan sát Kalman	321
Quan sát trạng thái hệ tuyến tính không liên tục (KF)	326
Quan sát trạng thái hệ phi tuyến không liên tục (Kalman mở rộng - EKF)	333
Bộ quan sát Kalman – Bucy	337
Ứng dụng Kalman – Bucy vào điều khiển phản hồi đầu ra (bộ điều khiển LQG)	341
Câu hỏi ôn tập và bài tập	344
Tài liệu tham khảo	346
Chỉ mục	346