

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

AUTOMATIQUE

Commande et diagnostic des systèmes dynamiques

Modélisation, analyse, commande par PID
et par retour d'état, diagnostic

Rosario TOSCANO

ellipses

Sommaire

I	Modélisation et analyse des systèmes	1
1	Modélisation des systèmes	3
1	Notion de système	3
2	Modèles d'un système	4
2.1	Modèle d'état ou représentation interne	4
2.2	Linéarisation du modèle d'état	7
2.3	Modèle de transfert ou représentation externe	10
2.4	Représentation multimodèle	11
3	Principes de la modélisation	16
3.1	Schéma de principe de l'installation	16
3.2	Schéma fonctionnel de l'installation	17
3.3	Écriture du modèle et linéarisation	18
4	Quelques exemples de modélisation	20
4.1	Modélisation d'un dispositif de mélange	20
4.2	Modélisation d'un actionneur électrique	21
4.3	Modélisation d'un dispositif de sustentation magnétique	23
4.4	Modélisation d'un dispositif électropneumatique	25
4.5	Modélisation d'un système mécanique articulé	29
5	Identification des paramètres d'un modèle	32
5.1	Principe de l'identification	32
5.2	Analyse de la réponse indicelle	33
5.3	Méthodes d'estimation	36
5.4	Exemples de mise en œuvre	41
6	Exercices	44
2	Analyse des systèmes dynamiques	51
1	Stabilité d'un point d'équilibre	51
1.1	Définition de la stabilité d'un point d'équilibre	51
1.2	Stabilité des systèmes linéaires	52
1.3	Étude de la stabilité par la méthode de Lyapunov	56
1.4	Stabilité des systèmes dynamiques discrets	58
1.5	Stabilité d'un système non linéaire et stabilité de son linéarisé	59
2	Analyse des modèles linéaires d'état	64
2.1	Non unicité de la représentation d'état	64
2.2	Solution de l'équation d'état et stabilité interne	64
2.3	Discrétisation exacte du modèle d'état et système pseudo-continu	66
2.4	Commandabilité et observabilité	68
3	Analyse des modèles linéaires de transfert	75
3.1	Unicité de la représentation par matrice de transfert	75
3.2	Pôles de la matrice de transfert et stabilité externe	75
3.3	Zéros de la matrice de transfert et liens avec la commandabilité et l'observabilité	77

4	Normes des signaux et des systèmes	79
4.1	Normes des signaux	79
4.2	Normes \mathcal{H}_2 et \mathcal{H}_∞ d'un système	81
4.3	Index \mathcal{H}_∞ d'une matrice de transfert	90
5	Exercices	92
II Commande des systèmes		95
3	Notion de loi de commande d'un système	97
1	Commande en boucle ouverte et commande en boucle fermée	97
2	Marges de stabilité et fonctions de sensibilité	99
3	Fonctions de sensibilité et robustesse	102
4	Principe de la commande par retour d'état	103
4	Régulateur PID et modèle interne	107
1	Commande par régulateur PID	107
1.1	Réalisation analogique et numérique d'un PID	108
1.2	Méthodes de réglage des régulateurs PID	110
1.3	Prédicteur de Smith et régulateur PIR	118
2	Commande par modèle interne	120
2.1	Synthèse du régulateur	120
2.2	Application au réglage des régulateurs PID	121
3	Exercices	124
5	Commande par retour d'état	127
1	Approche directe et placement de pôles	127
2	Commande par retour d'état dans le cas monovisible	128
2.1	Quelques stratégies de placement de pôles	129
2.2	Commande modale	133
3	Commande par retour d'état dans le cas multivariable	135
3.1	Commande modale multivariable	135
3.2	Commande par placement de structure propre	135
3.3	Découplage par retour d'état	139
3.4	Commande LQ	143
3.5	Adjonction d'un effet intégral	147
4	Reconstruction d'état	147
4.1	Le problème de la reconstruction d'état	148
4.2	Synthèse d'un observateur	148
4.3	Observateur d'ordre réduit	149
4.4	Principe de séparation	151
5	Commande multimodèle	152
5.1	Principe de la méthode	152
5.2	Condition suffisante de stabilité	153
5.3	Synthèse de la loi de commande	155
6	Exercices	159
6	Analyse de la robustesse d'une loi de commande	163
1	Modèle nominal et incertitudes de modélisation	163
1.1	Incertitudes paramétriques et dynamiques	164
1.2	Notion de robustesse	164
2	Représentation par LFT des incertitudes de modèle	164
2.1	Représentation des incertitudes paramétriques	166
2.2	Représentation des incertitudes dynamiques	169

2.3	Incertitudes mixtes	171
3	Étude de la robustesse	173
3.1	Analyse non structurée	174
3.2	Analyse structurée	177
4	Exercices	186
III Diagnostic des systèmes		189
7	Les principes de base du diagnostic	191
1	Position du problème	191
1.1	De la maintenance préventive au diagnostic	191
1.2	Du principe de cohérence au problème des connaissances	194
1.3	Quelques définitions et structure générale d'un système industriel	195
2	Les différentes étapes du diagnostic d'un système	198
3	Classification des méthodes de diagnostic	199
8	Diagnostic quantitatif	203
1	Principe du diagnostic quantitatif	203
1.1	Le modèle utilisé pour la synthèse d'un générateur de résidus	204
1.2	Génération de résidus	206
1.3	Détection et localisation des défauts	207
2	Synthèse du générateur de résidus	209
2.1	Approche par espace de parité	209
2.2	Approche à base d'observateurs	218
2.3	Approche par estimation paramétrique	233
3	Évaluation des résidus	240
3.1	Étape de détection	241
3.2	Étape de localisation	241
4	Exercices	242
9	Diagnostic qualitatif	245
1	Diagnostic qualitatif et reconnaissance de formes	245
1.1	Principe de la reconnaissance de formes	246
1.2	Application au diagnostic des systèmes	247
2	Synthèse de la fonction de classification	251
2.1	Approche probabiliste	251
2.2	Approche neuronale	255
2.3	Approche floue	260
3	Exercices	278
10	Corrigés des exercices	279
Bibliographie		311
Index		312