

**SYSTÈMES
AUTOMATISÉS**

Information – Commande – Communication

Identification des systèmes

sous la direction de
Ioan D. Landau
Alina Besançon-Voda

hermes

Table des matières

Introduction	15
Ioan D. LANDAU et Alina BESANÇON-VODA	
Chapitre 1. Les bases de l'identification des systèmes.	19
Ioan D. LANDAU	
1.1. Les principes	19
1.1.1. Acquisition des entrées/sorties sous un protocole d'expérimentation	22
1.1.2. Choix ou estimation de la complexité du modèle.	22
1.1.3. Estimation des paramètres du modèle	23
1.1.4. Validation du modèle	23
1.2. Un exemple : la méthode des moindres carrés	24
1.2.1. Le modèle.	24
1.2.2. Le problème d'identification	25
1.2.3. L'algorithme des moindres carrés	26
1.2.4. Effet du bruit $w(t)$	28
1.2.5. Techniques de minimisation du critère	30
1.2.6. Moindres carrés récurrents	31
1.2.7. Choix de la séquence d'entrée pour l'identification	34
1.2.8. Validation du modèle identifié	39
1.3. Les étapes de l'identification.	40
1.3.1. Acquisition des entrées/sorties sous protocole d'expérimentation	40
1.3.2. Estimation de la complexité	49
1.3.3. Estimation paramétrique.	55
1.3.4. Validation des modèles identifiés	88
1.4. Analyse des algorithmes d'identification	96
1.5. Propriétés d'approximation des algorithmes d'identification . . .	105
1.6. Identification des systèmes. Exemples d'applications	110

1.6.1. Identification d'un système bruité (simulation)	110
1.6.2. Identification d'un ensemble plate-forme en rotation et bras à liaison flexible.	115
1.7. Les logiciels d'identification	127
1.8. Principales notations	129
1.9. Bibliographie	130

Chapitre 2. Estimation ellipsoïdale à erreur bornée 131

Cécile DURIEU et Eric WALTER

2.1. Introduction	131
2.2. Principe de l'estimation à erreur bornée	132
2.3. Estimation récursive de paramètres	133
2.3.1. Réduction de bande	138
2.3.2. Intersection d'un ellipsoïde et d'une bande.	139
2.3.3. Résumé des algorithmes	143
2.3.4. Intersection de plusieurs ellipsoïdes	144
2.4. Poursuite de paramètres	146
2.5. Estimation d'état	150
2.6. Conclusions.	151
2.7. Principales notations	152
2.8. Bibliographie	153

Chapitre 3. Estimation paramétrique et observateur d'état. 155

Gildas BESANÇON

3.1. Introduction	155
3.2. Les données.	157
3.3. Notion(s) d'observabilité	159
3.4. Observateurs de base	163
3.4.1. Observateur de Luenberger	163
3.4.2. Observateur de Kalman	163
3.5. Estimation de paramètres et d'état.	164
3.5.1. Observateurs d'état étendu	164
3.5.2. Observateurs adaptatifs	167
3.6. Conclusions.	173
3.7. Principales notations	173
3.8. Bibliographie	173

Chapitre 4. Identification des systèmes à représentation continue . . . 177

Jean-Claude TRIGEASSOU et Thierry POINOT

4.1. Introduction	177
4.2. Algorithmes d'identification du type moindres carrés à erreur d'équation.	180

4.2.1. Introduction	180
4.2.2. Filtre de variables d'état	180
4.2.3. Moments partiels réinitialisés MPR	183
4.2.4. Conclusion	187
4.3. Algorithmes d'identification du type erreur de sortie	188
4.3.1. Introduction	188
4.3.2. Principe de la méthodologie	188
4.3.3. Calcul des fonctions de sensibilité	190
4.3.4. Convergence de l'estimateur	191
4.3.5. Problèmes de mise en œuvre	192
4.4. Estimation paramétrique avec connaissance <i>a priori</i>	194
4.4.1. Introduction	194
4.4.2. L'approche bayésienne	195
4.4.3. Minimisation du critère composite	196
4.4.4. Interprétation déterministe	198
4.4.5. Mise en œuvre	200
4.5. Exemples d'application	200
4.5.1. Introduction	200
4.5.2. Identification du modèle d'une machine asynchrone	201
4.5.3. Modélisation d'une bobine à noyau de fer	203
4.6. Conclusion	207
4.7. Principales notations	208
4.8. Bibliographie	209
Chapitre 5. Identification des modèles des procédés en boucle fermée	213
Ioan D. LANDAU et Alireza KARIMI	
5.1. Introduction	213
5.2. Les équations de base	216
5.3. Les algorithmes de l'erreur de sortie en boucle fermée	218
5.3.1. L'algorithme CLOE	219
5.3.2. Les algorithmes F-CLOE et AF-CLOE	220
5.3.3. L'algorithme X-CLOE	221
5.4. L'analyse de robustesse	223
5.5. Les algorithmes d'identification récursifs de type boucle ouverte filtrée (FOL)	226
5.6. La distribution fréquentielle du biais	229
5.6.1. Méthodes d'identification boucle ouverte filtrée	229
5.6.2. Méthodes d'erreur de sortie en boucle fermée	231
5.7. Validation des modèles identifiés en boucle fermée	232
5.7.1. Validation statistique	233
5.7.2. Validation par proximité des pôles	234
5.7.3. Validation temporelle	235
5.8. Evaluation expérimentale	235

5.8.1. Résultats expérimentaux	236
5.8.2. Identification en boucle fermée et recalcul du régulateur . . .	237
5.9. Questions pratiques	239
5.10. Conclusions	241
5.11. Principales notations	242
5.12. Bibliographie	242

Chapitre 6. Interaction entre l'identification et la commande 245

Alina BESANÇON-VODA et Merzad NAMVAR

6.1. Introduction	245
6.1.1. Approche 1 : schéma itératif d'identification et de commande.	245
6.1.2. Approche 2 : identification pour la commande robuste . . .	246
6.2. Schéma itératif	247
6.2.1. Une approche temporelle	248
6.2.2. Une approche fréquentielle	251
6.3. Propriétés asymptotiques du modèle identifié en boucle fermée	252
6.3.1. Distribution du biais, pour la commande	252
6.3.2. Variance asymptotique de l'estimation de la fonction de transfert.	254
6.4. Erreur de modèle en boucle fermée	255
6.4.1. Identification en boucle fermée du modèle du procédé . . .	255
6.4.2. Estimation spectrale du modèle de l'erreur filtrée de modèle.	256
6.4.3. Identification paramétrique du modèle de l'erreur de modèle.	257
6.4.4. L'expression de la variance asymptotique du modèle de l'erreur de modèle	258
6.4.5. Exemple de simulation	259
6.5. Identification H_∞	260
6.5.1. Définition du problème.	261
6.5.2. Algorithme d'optimisation	261
6.5.3. Minimisation de l'erreur additive	263
6.6. Application au vérin électropneumatique	266
6.6.1. Exemple 1 : procédure itérative d'identification H_2 en boucle fermée, de commande et de validation (approche 1) . . .	267
6.6.2. Exemple 2 : identification $\mathcal{H}_\infty$ pour la commande robuste (approche 2)	269
6.7. Conclusions.	275
6.8. Notations, définitions, schémas.	276
6.9. Annexes	280

6.9.1. Annexe 1 : stabilité l_p pour les systèmes incertains avec incertitude structurelle.	280
6.9.2. Annexe 2	281
6.10. Bibliographie	282
Chapitre 7. Identification pour la commande robuste	285
Ali ZOLGHADRI	
7.1. Introduction et position du problème.	285
7.2. Identification robuste	287
7.2.1. Modélisation d'incertitudes pour la commande robuste . . .	287
7.2.2. Démarche employée.	289
7.3. Informations <i>a priori</i> et formulation du problème dans un contexte « erreur inconnue mais bornée »	291
7.3.1. La dynamique	292
7.3.2. Les perturbations et les entrées passées	296
7.4. Borne supérieure de l'erreur totale.	297
7.5. Approche erreur inconnue mais bornée	298
7.5.1. Principe	298
7.5.2. Calcul du polytope.	300
7.6. Estimation de la réponse fréquentielle	301
7.7. Recherche d'un modèle nominal et d'une borne sur l'erreur de modèle pondérée	304
7.7.1. Modèle nominal.	304
7.7.2. Calcul d'une borne sur l'erreur de modèle	306
7.8. Exemples	306
7.8.1. Simulation	306
7.8.2. Exemple d'application	308
7.9. Conclusions.	310
7.10. Notations.	313
7.11. Bibliographie	313
Chapitre 8. Interaction identification-commande via les ellipsoïdes d'incertitude	317
Henri-François RAYNAUD, Luc PRONZATO et Eric WALTER	
8.1. Principe d'équivalence certaine et perte d'information	317
8.2. Ellipsoïdes de confiance et ellipsoïdes admissibles	319
8.3. Critère de performance robuste du régulateur	322
8.4. Optimisation du critère de performance robuste	324
8.5. Procédure combinée pour l'identification et la commande	328
8.6. Application à une transmission flexible	330
8.7. Conclusions.	333
8.8. Liste des principales notations	335

8.9. Annexes	335
8.9.1. Démonstration du théorème 8.1	335
8.9.2. Démonstration du théorème 8.2	339
8.10. Bibliographie	341

Chapitre 9. Quel est le bon modèle ? 343

Jacques RICHALET

9.1. Modélisation	343
9.1.1. Théorie des systèmes	344
9.1.2. Types de modèles	346
9.1.3. Réification	347
9.1.4. Espace paramétrique	351
9.1.5. Le problème de l'identifiabilité des modèles de connaissance.	354
9.2. Identification globale.	356
9.2.1. Le conditionnement	356
9.2.2. Recherche d'une isodistance	359
9.3. Protocole d'essai.	359
9.3.1. Test élémentaire.	359
9.3.2. Optimisation du protocole d'essai.	362
9.3.3. Cercle vicieux de l'optimisation des protocoles	363
9.4. Le bon modèle ?	366
9.5. Conclusion	367
9.6. Bibliographie	369

Index	371
------------------------	------------

Le traité Information, Commande, Communication répond au besoin de disposer d'un ensemble complet des connaissances et méthodes nécessaires à la maîtrise des systèmes technologiques.

Conçu volontairement dans un esprit d'échange disciplinaire, le traité IC2 est l'état de l'art dans les domaines suivants retenus par le comité scientifique :

- Réseaux et télécoms
- Traitement du signal et de l'image
- Informatique et systèmes d'information
- Systèmes automatisés
- Productique

Chaque ouvrage présente aussi bien les aspects fondamentaux qu'expérimentaux. Une classification des différents articles contenus dans chacun, une bibliographie et un index détaillé orientent le lecteur vers ses points d'intérêt immédiats : celui-ci dispose ainsi d'un guide pour ses réflexions ou pour ses choix.

Les savoirs, théories et méthodes rassemblés dans chaque ouvrage ont été choisis pour leur pertinence dans l'avancée des connaissances ou pour la qualité des résultats obtenus dans le cas d'expérimentations réelles.