

Table des matières

| | |
|--|----|
| Avant-propos | 11 |
| Chapitre 1. Modèles et systèmes dynamiques | 13 |
| 1.1. Généralités | 13 |
| 1.2. Modélisation des processus industriels | 15 |
| 1.3. Classes de modèles | 17 |
| 1.3.1. Modèles d'état (ME) | 17 |
| 1.3.2. Modèles entrée-sortie (ME/S) | 25 |
| 1.3.2.1. Modèle de connaissance | 25 |
| 1.3.2.2. Modèle de comportement | 26 |
| 1.3.2.3. Modèle de commande | 28 |
| 1.3.2.4. Modèle de conduite | 31 |
| Chapitre 2. Identification linéaire des systèmes en boucle fermée | 35 |
| 2.1. Aperçu d'ensemble sur l'identification des systèmes | 35 |
| 2.2. Contexte de travail | 36 |
| 2.3. Identification préliminaire d'un processus bouclé | 41 |
| 2.3.1. Modèles d'identification linéaires multi-variables | 42 |
| 2.3.2. Estimation des modèles linéaires de type MIMO par la MMC | 45 |
| 2.3.3. Identifier les processus bouclés à l'aide de la MMC-MV | 49 |
| 2.3.3.1. Données E/S mesurées directement sur le processus | 50 |
| 2.3.3.2. Données E/S mesurées sur le système en BF (sans accès à la commande du processus) | 52 |

| | |
|---|----|
| 2.4. Méthodes d'identification de la classe CLOE | 54 |
| 2.4.1. Principe des méthodes CLOE | 54 |
| 2.4.2. Méthode CLOE de base | 55 |
| 2.4.3. Méthode CLOE pondérée (W-CLOE) | 60 |
| 2.4.4. Méthodes CLOE avec filtrage (F-CLOE) ou filtrage adaptatif (AF-CLOE) | 71 |
| 2.4.5. Méthode CLOE étendue (X-CLOE) | 73 |
| 2.4.6. Méthode CLOE généralisée (G-CLOE) | 80 |
| 2.4.7. Méthode CLOE pour des systèmes avec intégrateur (I-CLOE) | 89 |
| 2.4.8. Sur la validation des modèles identifiés par les méthodes CLOE | 94 |
| 2.5. Application : identification d'une suspension active | 95 |

Chapitre 3. Conception de la commande numérique par placement de pôles 109

| | |
|--|-----|
| 3.1. Commande PID numérique | 109 |
| 3.2. Commande polynomiale RST numérique | 111 |
| 3.3. Commande RST par placement de pôles | 114 |
| 3.3.1. Calcul de la commande pour la dynamique en régulation | 114 |
| 3.3.2. Calcul de la commande pour la dynamique en poursuite | 115 |
| 3.3.3. Commande RST à objectifs en régulation et poursuite | 116 |
| 3.3.3.1. Performances en régulation | 117 |
| 3.3.3.2. Performances en poursuite | 118 |
| 3.4. Commande prédictive | 119 |
| 3.4.1. Commande prédictive à horizon fini | 120 |
| 3.4.2. Commande prédictive à horizon unitaire | 122 |

Chapitre 4. Commande adaptative et commande robuste 129

| | |
|---|-----|
| 4.1. Systèmes adaptatifs à commande polynomiale | 129 |
| 4.1.1. Estimation des paramètres pour les systèmes en boucle fermée | 130 |
| 4.1.2. Conception de la commande adaptative | 131 |
| 4.2. Systèmes robustes à commande polynomiale | 133 |
| 4.2.1. Robustesse des systèmes en boucle fermée | 133 |
| 4.2.2. Etude de la connexion stabilité-robustesse | 136 |
| 4.2.3. Etude de la connexion non-linéarité-robustesse | 138 |
| 4.2.4. Etude de la connexion performance-robustesse | 139 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.5. Analyse de la robustesse par l'étude sur la fonction de sensibilité | 140 |
| 4.2.6. Conception de la commande RST robuste | 143 |
| 4.2.7. Calibrage de la fonction de sensibilité | 144 |
| Chapitre 5. Commande multimodèle | 147 |
| 5.1. Construction de multimodèles | 148 |
| 5.1.1. Logique floue, modèles de Mamdani | 148 |
| 5.1.2. Identification à partir de données entrées-sorties : méthode directe | 154 |
| 5.1.3. Identification à partir de données entrées-sorties : approche neuronale | 155 |
| 5.1.4. Linéarisation autour de divers points de fonctionnement | 157 |
| 5.1.5. Transformation polytopique convexe à partir d'un modèle analytique affine en la commande | 158 |
| 5.1.6. Calcul de la validité des modèles de base | 159 |
| 5.2. Stabilisation et commande des multimodèles | 160 |
| 5.3. Conception de la commande multimodèle : approche floue | 160 |
| 5.4. Suivi de trajectoire | 161 |
| Chapitre 6. Systèmes mal définis et/ou incertains | 163 |
| 6.1. Etude de la stabilité des systèmes non linéaires à partir des normes vectorielles | 163 |
| 6.1.1. Normes vectorielles | 163 |
| 6.1.2. Systèmes de comparaison, systèmes majorants | 164 |
| 6.1.2.1. Cas continu | 164 |
| 6.1.2.2. Cas discret | 166 |
| 6.1.3. Détermination des attracteurs | 169 |
| 6.1.3.1. Cas continu | 169 |
| 6.1.3.2. Cas discret | 170 |
| 6.1.4. Attracteurs emboîtés | 171 |
| 6.2. Adaptation de la commande | 172 |
| 6.2.1. Minimisation de la taille des attracteurs : approche directe | 172 |
| 6.2.2. Minimisation de la taille des attracteurs par métaheuristique | 172 |
| 6.3. Majoration de l'erreur maximale pour diverses applications | 173 |
| 6.3.1. Commande des systèmes non linéaires par placement de pôles | 173 |
| 6.3.1.1. Cas continu | 173 |
| 6.3.1.2. Cas discret | 174 |

| | |
|--|-----|
| 6.3.2. Commande par difféomorphisme des processus non linéaires | 174 |
| 6.3.3. Détermination de l'attracteur pour les processus du type Lur'e Postnikov | 177 |
| 6.3.3.1. Description des systèmes étudiés | 177 |
| 6.3.3.2. Cas du système incertain en régime non autonome (et non nul) | 178 |
| 6.3.4. Minimisation de l'attracteur par la recherche tabou | 180 |
| 6.4. Commande à boucle secondaire floue | 185 |

**Chapitre 7. Modélisation et contrôle d'un processus industriel
élémentaire 187**

| | |
|---|-----|
| 7.1. Modélisation et contrôle des processus de transfert de fluide | 187 |
| 7.1.1. Modélisation des processus d'écoulement de fluide | 188 |
| 7.1.1.1. Modèle dynamique d'un tuyau court | 188 |
| 7.1.1.2. Modèle dynamique d'un tuyau long | 191 |
| 7.1.2. Conception des systèmes de contrôle du débit | 192 |
| 7.2. Modélisation et contrôle des processus d'alimentation-évacuation de liquide | 194 |
| 7.2.1. Evacuation à débit constant | 195 |
| 7.2.2. Evacuation à débit variable | 197 |
| 7.2.3. Conception des systèmes de contrôle du niveau de liquide | 199 |
| 7.3. Modélisation et contrôle des processus d'alimentation-évacuation d'une capacité pneumatique | 201 |
| 7.3.1. Modélisation d'une capacité pneumatique | 201 |
| 7.3.2. Conception des systèmes de contrôle de la capacité pneumatique | 204 |
| 7.4. Modélisation et contrôle des processus de transfert de chaleur | 205 |
| 7.4.1. Modélisation d'un processus de transfert thermique | 205 |
| 7.4.2. Conception des systèmes de contrôle pour la température | 208 |
| 7.5. Modélisation et contrôle des processus de transfert de composants | 209 |
| 7.5.1. Modélisation d'un processus de mélange sans réaction chimique | 209 |
| 7.5.2. Modélisation d'un mélange avec réaction chimique | 212 |
| 7.5.3. Conception des systèmes de contrôle de la concentration des composants chimiques | 214 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 8. Applications industrielles – Etudes de cas | 217 |
| 8.1. Contrôle numérique pour l’installation de chauffage de l’air dans une aciérie | 217 |
| 8.1.1. Solution d’automatisation et conception de la commande | 218 |
| 8.1.2. Optimisation du processus de combustion | 221 |
| 8.2. Contrôle et optimisation d’une installation d’éthylène | 224 |
| 8.2.1. Solution d’automatisation et conception de la commande | 225 |
| 8.2.1.1. Contrôle de la proportion des débits d’essence et de vapeur | 226 |
| 8.2.1.2. Contrôle des paramètres de la réaction chimique | 227 |
| 8.2.2. Optimisation du processus de pyrolyse | 232 |
| 8.3. Commande numérique d’une installation thermo-énergétique | 233 |
| 8.3.1. Solution d’automatisation d’un point de fonctionnement thermique | 234 |
| 8.3.2. Optimisation du transfert thermique agent-produit | 239 |
| 8.4. Contrôle extrémal d’une installation photovoltaïque | 240 |
| 8.4.1. Contrôle extrémal du panneau photovoltaïque | 251 |
| | |
| Annexe A | 257 |
| | |
| Annexe B | 261 |
| | |
| Annexe C | 269 |
| | |
| Annexe D | 273 |
| | |
| Liste des notations et acronymes | 281 |
| | |
| Bibliographie | 285 |
| | |
| Index | 293 |