

TRAITEMENT
DU SIGNAL
ET DE L'IMAGE

Information - Commande - Communication

Filtrage adaptatif

théorie et algorithmes

sous la direction de

François Michaut
Maurice Bellanger

 **hermes**

Lavoisier

Table des matières

| | |
|--|----|
| Avant-propos | 5 |
| Chapitre 1. Filtrage adaptatif : le problème de base | 13 |
| Jean-Marc BROSSIER, François MICHAUT | |
| 1.1. Traitement du signal et optimisation | 13 |
| 1.1.1. Pourquoi du filtrage adaptatif ? | 13 |
| 1.1.2. Soustraction de bruit, égalisation et identification | 14 |
| 1.2. Estimation optimale | 16 |
| 1.2.1. Estimation non linéaire | 16 |
| 1.2.2. Estimation en moyenne quadratique (m.q.) | 18 |
| 1.2.3. Deux approches de l'ELMQ : Wiener et Kalman | 19 |
| 1.3. Le filtrage de Wiener RIF | 22 |
| 1.3.1. La solution RIF : équations normales | 22 |
| 1.3.2. Le point de vue déterministe : moindres carrés | 23 |
| 1.4. Optimisation déterministe : les algorithmes | 25 |
| 1.4.1. Gradient déterministe | 25 |
| 1.4.2. Newton et quasi-Newton | 27 |
| 1.4.3. Autres méthodes : gradient conjugué... | 29 |
| 1.5. Passage aux algorithmes adaptatifs et rôle de l'ergodisme | 29 |
| 1.5.1. Choix du critère à optimiser | 30 |
| 1.5.2. Choix d'un algorithme déterministe d'optimisation | 31 |
| 1.5.3. Algorithme stochastique et estimation statistique | 32 |
| 1.5.4. Le lien entre point de vue déterministe et probabiliste : l'ergodisme | 33 |
| 1.6. Bibliographie | 36 |
| Chapitre 2. Filtrage adaptatif RIF | 39 |
| François MICHAUT, André GILLOIRE, Pascal SCALART | |
| 2.1. Gradient stochastique | 39 |

| | |
|---|----|
| 2.1.1. Le gradient stochastique : LMS | 40 |
| 2.1.2. Convergence du LMS | 41 |
| 2.1.3. Variantes du LMS : NLMS, formes par blocs | 50 |
| 2.2. Moindres carrés récurrents : RLS | 55 |
| 2.2.1. L'algorithme récurrent : RLS | 56 |
| 2.2.2. Algorithme adaptatif : facteur d'oubli | 57 |
| 2.2.3. Convergence et propriétés statistiques | 59 |
| 2.2.4. Simulations et comparaisons RLS-LMS | 65 |
| 2.3. Algorithmes de projection affine | 69 |
| 2.3.1. Introduction | 69 |
| 2.3.2. Liens avec les autres familles d'algorithmes | 72 |
| 2.3.3. Régularisation directe de la matrice de covariance des données | 73 |
| 2.3.4. Convergence de l'algorithme APA | 74 |
| 2.3.5. Complexité algorithmique et algorithmes rapides | 76 |
| 2.4. Structures en treillis | 77 |
| 2.4.1. Introduction | 77 |
| 2.4.2. Le treillis gradient et variantes | 79 |
| 2.4.3. Le treillis Moindres carrés | 81 |
| 2.5. Performances comparées des algorithmes adaptatifs | 83 |
| 2.5.1. Performances de APA et NLMS | 83 |
| 2.5.2. Performances des algorithmes en treillis | 86 |
| 2.6. Bibliographie | 90 |

Chapitre 3. Algorithmes adaptatifs : méthodes générales 93

Jean-Pierre DELMAS, Jean-Marc BROSSIER, François MICHAUT

| | |
|---|-----|
| 3.1. Nécessité de traitements adaptatifs plus généraux | 94 |
| 3.1.1. Filtrage RII, modélisation ARMA | 94 |
| 3.1.2. Egalisation linéaire aveugle | 95 |
| 3.1.3. Estimation de retards | 97 |
| 3.1.4. Approximation de sous-espaces, réseau de neurones | 97 |
| 3.1.5. Conception des algorithmes | 99 |
| 3.2. Forme générale d'algorithmes, méthodes pour la convergence (ODE) | 101 |
| 3.2.1. Forme générale, vecteur d'état | 101 |
| 3.2.2. Algorithme déterministe et méthode de l'ODE | 103 |
| 3.2.3. Stabilité de l'ODE et fonction de Liapounoff | 107 |
| 3.2.4. Exemples : ODE, convergence, condition SPR | 109 |
| 3.3. Algorithmes à pas constant : fluctuation stationnaire | 112 |
| 3.3.1. Fluctuation : approximation-diffusion gaussienne et EDS | 114 |
| 3.3.2. Exemples | 115 |
| 3.4. Poursuite de non-stationnarités | 117 |
| 3.4.1. Problématique de la poursuite | 118 |
| 3.4.2. Exemple de l'estimateur de moyenne | 119 |
| 3.4.3. Méthode générale : diffusions gaussiennes et ODE | 122 |

| | |
|--|------------|
| 3.4.4. Le cas standard : LMS et RLS, exemples | 125 |
| 3.5. Application : méthodes d'approximation de sous-espaces | 127 |
| 3.5.1. Construction des algorithmes | 128 |
| 3.5.2. Etude de convergence | 134 |
| 3.6. Conclusion | 137 |
| 3.7. Bibliographie | 138 |
| Chapitre 4. Algorithmes rapides, vitesse et stabilité numérique | 141 |
| Maurice BELLANGER | |
| 4.1. Introduction et notations | 141 |
| 4.2. Filtres transverses rapides | 142 |
| 4.2.1. Equations de récurrence du filtre d'ordre M | 142 |
| 4.2.2. Relations entre les variables des Moindres carrés | 144 |
| 4.2.3. Algorithme MCR basé sur les erreurs <i>a priori</i> | 149 |
| 4.2.4. Algorithme MCR basé sur l'ensemble des erreurs de prédiction | 153 |
| 4.2.5. Conditions de stabilité et initialisation | 155 |
| 4.2.6. Contrôle de l'accumulation des erreurs d'arrondi | 160 |
| 4.2.7. Moindres carrés avec décimation | 162 |
| 4.3. Algorithmes en treillis | 163 |
| 4.3.1. Récurrences sur l'ordre pour les coefficients de prédiction | 163 |
| 4.3.2. Relations de récurrence sur l'ordre pour les coefficients du filtre | 167 |
| 4.3.3. Relations de récurrence temporelle | 169 |
| 4.3.4. Algorithmes MCR pour les structures en treillis | 170 |
| 4.3.5. Algorithmes pour treillis avec normalisation | 172 |
| 4.3.6. Calcul des coefficients des filtres transversaux | 177 |
| 4.4. Algorithmes de décomposition QR | 178 |
| 4.4.1. L'opération de rotation | 179 |
| 4.4.2. La décomposition QR | 179 |
| 4.4.3. Rotations en prédiction linéaire arrière | 181 |
| 4.4.4. Rotation en prédiction linéaire avant | 185 |
| 4.4.5. L'algorithme QR rapide | 187 |
| 4.4.6. Equivalence avec le treillis | 189 |
| 4.5. Conclusion | 190 |
| 4.6. Bibliographie | 191 |
| Chapitre 5. Filtrage adaptatif RII | 193 |
| Phillip REGALIA | |
| 5.1. Introduction | 193 |
| 5.2. Principes d'identification du système | 194 |
| 5.3. Méthode d'erreur d'équation | 194 |
| 5.3.1. Développement algorithmique | 198 |
| 5.3.2. Propriétés de modélisation | 200 |
| 5.4. Méthode de minimisation de l'erreur de sortie | 203 |

12 Filtrage adaptatif

| | |
|--|------------|
| 5.5. Méthode de Steiglitz et McBride | 207 |
| 5.5.1. Développement algorithmique | 208 |
| 5.6. Algorithmes à base d'hyperstabilité | 211 |
| 5.7. Algorithme hyperstable simplifié | 216 |
| 5.8. Convergence des algorithmes en erreur de sortie | 217 |
| 5.8.1. Méthode de gradient | 219 |
| 5.8.2. Algorithme de Steiglitz-McBride | 220 |
| 5.8.3. SHARF | 223 |
| 5.9. Approximation dans le cas sous-modélisé | 225 |
| 5.10. Conclusion | 229 |
| 5.11. Bibliographie | 229 |
| Index | 233 |