

TRAITEMENT
DU SIGNAL
ET DE L'IMAGE

Information - Commande - Communication

Synthèse de filtres numériques en traitement du signal et des images

sous la direction de
Mohamed Najim

Hermes

Lavoisier

Table des matières

Introduction	15
Mohamed NAJIM	
Chapitre 1. Généralités sur les signaux et les systèmes	19
Yannick BERTHOUMIEU, Eric GRIVEL, Mohamed NAJIM	
1.1. Introduction	19
1.2. Signal : catégories, représentation et caractérisation	19
1.2.1. Définition d'un signal à temps continu ou à temps discret	19
1.2.2. Signal déterministe ou aléatoire	24
1.2.3. Signal périodique	26
1.2.4. Moyenne, énergie et puissance	27
1.2.5. Fonction d'autocorrélation	30
1.3. Systèmes	33
1.4. Propriétés des systèmes à temps discret	34
1.4.1. Système linéaire invariant	34
1.4.2. Réponse impulsionnelle et produit de convolution	34
1.4.3. Causalité	36
1.4.4. Association de systèmes	36
1.5. Bibliographie	37
Chapitre 2. Analyse des systèmes discrets	39
Mohamed NAJIM et Eric GRIVEL	
2.1. Introduction	39

2.2. Transformée en z	39
2.2.1. Rappels et définition	39
2.2.2. Propriétés de la transformée en z	46
2.2.3. Tableau des transformées usuelles	52
2.3. Transformée en z inverse.	53
2.3.1. Introduction	53
2.3.2. Méthodes de détermination de la transformée en z inverse	54
2.4. Fonction de transfert et équation aux différences.	59
2.4.1. Fonction de transfert d'un système continu.	59
2.4.2. Fonction de transfert d'un système discret	60
2.5. Transformées en z des fonctions d'autocorrélation et d'intercorrélation.	64
2.6. Etude de la stabilité	66
2.6.1. Stabilité Entrée Bornée/Sortie Bornée.	66
2.6.2. Etude du domaine de convergence	67

Chapitre 3. Caractérisation fréquentielle d'un signal et d'un filtre 73

Eric GRIVEL et Yannick BERTHOUMIEU

3.1. Introduction.	73
3.2. La transformée de Fourier d'un signal continu	73
3.2.1. Rappel sur la décomposition en série de Fourier d'un signal continu.	73
3.2.2. Transformée de Fourier d'un signal continu	79
3.3. Transformée de Fourier Discrète (TFD)	98
3.3.1. Expression de la transformée de Fourier d'une séquence discrète	98
3.3.2. Relation entre les transformées en z , de Laplace et de Fourier	100
3.3.3. Transformée de Fourier inverse.	102
3.3.4. La transformée de Fourier discrète.	102
3.4. Transformée de Fourier Rapide (<i>Fast Fourier Transform</i> , FFT)	103
3.5. Transformée de Fourier rapide pour une représentation temps/fréquence/ énergie d'un signal non stationnaire	107
3.6. Caractérisation fréquentielle d'un système à temps continu	109
3.6.1. Filtres d'ordre 1 et d'ordre 2	109
3.6.2. Système du deuxième ordre	111
3.7. Caractérisation fréquentielle d'un système à temps discret.	114
3.7.1. Diagramme fréquentiel en amplitude et en phase	114
3.7.2. Application.	114

Chapitre 4. Les filtres à temps continu (filtres analogiques)	117
Daniel BASTARD et Eric GRIVEL	
4.1. Introduction	117
4.2. Sur les différents types de filtres et définition du gabarit d'un filtre	118
4.3. Filtres de Butterworth, approximation « méplat »	122
4.3.1. Fonctions MFM (maximally flat magnitude)	122
4.3.2. Cas particulier de fonctions MFM : les filtres polynomiaux de Butterworth	124
4.4. Filtres d'égalisation d'ondulations, approximation de Tchebychev	132
4.4.1. Caractéristique de l'approximation de Tchebychev	132
4.4.2. Filtre de Tchebychev de type I	132
4.4.3. Filtre de Tchebychev de type II	143
4.5. Filtres elliptiques : approximation de Cauey	145
4.6. Bilan sur les 4 types de filtres passe-bas : Butterworth, Tchebychev de type I, Tchebychev de type II et Cauey	145
4.7. Filtres à phase linéaire (MFD : <i>maximally flat delay</i>) – Filtres de Bessel ou de Thomson	146
4.7.1. Rappels sur les filtres continus à phase linéaire	146
4.7.2. Propriétés des filtres de Bessel Thomson	148
4.7.3. Filtres de Bessel ou Bessel-Thomson	150
4.8. Filtres de Papoulis (optimum (O_n))	153
4.8.1. Caractéristiques générales	153
4.8.2. Détermination des pôles de la fonction de transfert	155
4.9. Comparaison des performances des filtres	156
4.10. Bibliographie	159
Chapitre 5. Les filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF)	161
Yannick BERTHOUMIEU, Eric GRIVEL, Mohamed NAJIM	
5.1. Présentation des filtres à réponse impulsionnelle finie	161
5.1.1. Equation aux différences et les filtres RIF	161
5.1.2. Filtre RIF à phase linéaire	166
5.1.3. Bilan des propriétés des filtres RIF	176
5.2. Synthèse des filtres RIF à partir de spécifications fréquentielles	177
5.2.1. Rappel sur les fenêtres	177
5.2.2. Synthèse d'un RIF par la méthode de la fenêtre	185
5.3. Approche optimale d'égalisation d'oscillations dans les bandes d'arrêt et passante	191
5.4. Bibliographie	197

Chapitre 6. Les filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII) 199

Eric GRIVEL et Mohamed NAJIM

6.1. Présentation des filtres à réponse impulsionnelle infinie	199
6.1.1. Exemples de filtre RII	200
6.1.2. Filtre sans perte et passe-tout	204
6.1.3. Filtre à minimum de phase	206
6.2. Synthèse des filtres RII	210
6.2.1. Méthodes de l'invariant de la réponse impulsionnelle	210
6.2.2. Méthode de l'invariance de la réponse indicielle	211
6.2.3. Transformation bilinéaire	212
6.2.4. Transformations de fréquence pour la synthèse de filtres à partir de filtres passe-bas	215
6.3. Bibliographie	216

Chapitre 7. Structures des filtres RIF et RII 219

Mohamed NAJIM et Eric GRIVEL

7.1. Introduction	219
7.2. Structure du filtre RIF	220
7.3. Structures du filtre à RII	220
7.3.1. Structure directe	220
7.3.2. Structure cascade	237
7.3.3. Structure parallèle	239
7.4. Réalisation de filtres en précision finie	239
7.4.1. Introduction	239
7.4.2. Cas des filtres RIF	240
7.4.3. Cas des filtres RII	241
7.5. Bibliographie	260

Chapitre 8. Filtrage linéaire 2D 263

Philippe BOLON

8.1. Introduction	263
8.2. Modélisation continue	263
8.2.1. Représentation des signaux 2D	263
8.2.2. Filtrage analogique	265
8.3. Modélisation discrète	266
8.3.1. Échantillonnage 2D	266
8.3.2. Phénomène de repliement (aliasing) et théorème de Shannon	270
8.4. Filtrage dans le domaine spatial	272

8.4.1. Convolution discrète 2D	272
8.4.2. Filtre séparable	275
8.4.3. Filtrage récursif séparable	276
8.4.4. Traitement des effets de bord	279
8.5. Filtrage dans le domaine fréquentiel	283
8.5.1. Transformée de Fourier discrète (TFD) 2D	283
8.5.2. Effet de convolution circulaire	285
8.6. Bibliographie	290
Chapitre 9. Synthèse des filtres 2D à réponse impulsionnelle finie	291
Yannick BERTHOUMIEU	
9.1. Introduction	291
9.2. Formes basiques des RIF 2D	292
9.3. Synthèse par la méthode de la fenêtre 2D	293
9.3.1. Principe	293
9.3.2. Gabarit fréquentiel théorique 2D	294
9.3.3. Gabarit fréquentiel rectangulaire	294
9.3.4. Gabarit circulaire	296
9.3.5. Synthèse du filtre 2D	301
9.3.6. Application des filtres à gabarits rectangulaire et circulaire	301
9.3.7. Les filtres gaussiens 2D	303
9.3.8. Définitions 1D et 2D dans un espace continu	304
9.3.9. Approximation par un filtre RIF	307
9.3.10. Exemple fondé sur l'exploitation d'un filtre gaussien modulé	310
9.4. Annexe : la fenêtre spatiale et son utilisation	315
9.5. Bibliographie	319
Chapitre 10. Sur la stabilité des filtres	321
Michel BARRET	
10.1. Introduction	321
10.2. Critère de Schur-Cohn	326
10.3. Annexe A : Résultant de deux polynômes	344
10.4. Bibliographie	348
Chapitre 11. Le domaine bidimensionnel	349
Michel BARRET	
11.1. Filtres récursifs	349
11.1.1. Fonction de transfert	349

14 Filtres numériques pour le signal et les images

11.1.2. Transformée en z bidimensionnelle	350
11.1.3. Stabilité, causalité, semi-causalité	352
11.2. Critères de stabilité	357
11.2.1. Filtrés causaux	357
11.2.2. Filtrés semi-causaux	361
11.3. Algorithmes de tests de stabilité	362
11.3.1. Table de Jury	363
11.3.2. Algorithmes fondés sur le calcul du résultant de Bézout	368
11.3.3. Comportement des algorithmes face aux erreurs d'arrondi	376
11.4. Codage par prédiction linéaire	380
11.5. Annexe A : démonstration du critère de Schur-Cohn	384
11.6. Annexe B Critères de stabilité 2D optimaux.	387
11.7. Bibliographie	391

Index	395
------------------------	------------