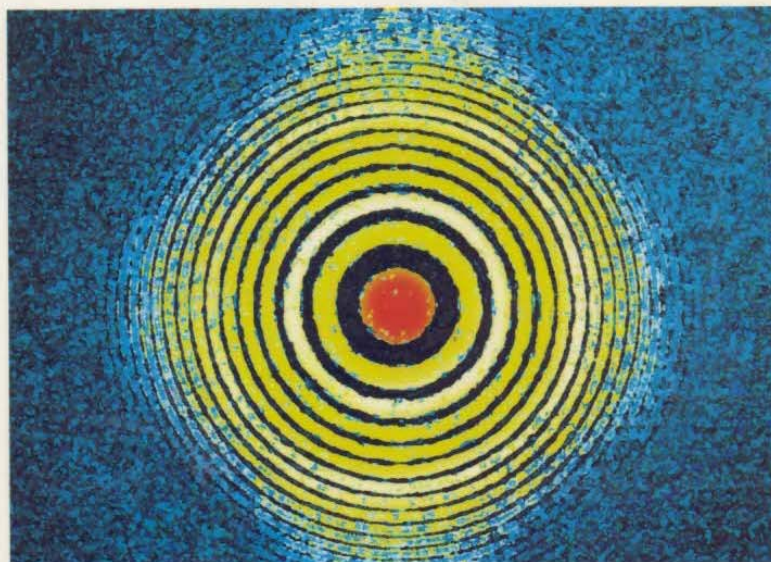


Maurice Bellanger

2^e CYCLE • ÉCOLES D'INGÉNIEURS

Traitement numérique du signal

Théorie et pratique



DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

(Contents see p. 12)

PRÉFACE	5
AVANT-PROPOS	13
INTRODUCTION	15
CHAPITRE PREMIER. – LA NUMÉRISATION DU SIGNAL.	
ÉCHANTILLONNAGE ET CODAGE	23
I. 1 L'analyse de Fourier	23
I. 2 Les distributions	28
I. 3 Principaux signaux traités	30
I. 4 Normes d'une fonction	37
I. 5 L'opération d'échantillonnage	38
I. 6 L'échantillonnage en fréquence	40
I. 7 Le théorème de l'échantillonnage	41
I. 8 Échantillonnage de signaux sinusoïdaux et de signaux aléatoires	43
I. 9 L'opération de quantification	47
I10 La dynamique du codage	50
I11 Codage non linéaire suivant une loi segmentée	53
I12 Optimisation du codage	55
I13 Quantité d'information et capacité d'un canal	58
I14 Les représentations binaires	59
ANNEXE I – La fonction $I(x)$	60
ANNEXE II – La loi normale réduite	61
<i>Bibliographie</i>	62
<i>Exercices</i>	63
CHAPITRE II. – LA TRANSFORMATION DE FOURIER DISCRÈTE	65
II.1 Définition et propriétés de la TFD	66
II.2 La Transformation de Fourier Rapide (TFR)	68
II.2.1 TFR avec entrelacement temporel	69
II.2.2 TFR avec entrelacement fréquentiel	72
II.2.3 Algorithme de TFR en base 4	74
II.2.4 Algorithme de TFR en base double	76

II.3	Dégradations dues aux limitations dans le calcul	78
II.3.1	Effets de l'arrondi des coefficients.	78
II.3.2	Bruit de calcul dans la TFR	79
II.4	Calcul de spectres par TFD	82
II.4.1	Fonction de filtrage remplie par la TFD	82
II.4.2	Résolution spectrale	85
II.5	La convolution rapide	87
II.6	Calcul d'une TFD par convolution	88
II.7	Réalisation	89
ANNEXE I	– Programme de calcul de TFR avec inversion binaire	92
ANNEXE II	– Programme de calcul de TFR sans inversion binaire	94
	<i>Bibliographie</i>	95
	<i>Exercices</i>	95
 CHAPITRE III. – AUTRES ALGORITHMES DE CALCUL RAPIDE DE LA TFR .		98
III.1	Le produit de Kronecker des matrices	98
III.2	Factorisation de la matrice de l'algorithme d'entrelacement fréquentiel ..	100
III.3	Les Transformées partielles	102
III.3.1	Transformée de nombres réels et TFD impaire	104
III.3.2	La Transformée doublement impaire	107
III.3.3	Les Transformées discrètes en cosinus et sinus	110
III.3.4	La transformée en cosinus discrète à 2 dimensions	112
III.4	Autres algorithmes de calcul rapide	113
III.5	Les transformations algébriques	114
	<i>Bibliographie</i>	119
	<i>Exercices</i>	120
 CHAPITRE IV. – LES SYSTÈMES LINÉAIRES DISCRETS INVARIANTS DANS LE TEMPS		12
IV.1	Définition et propriétés	12
IV.2	La transformation en Z	12
IV.3	Énergie et puissance des signaux discrets	12
IV.4	Filtrage des signaux aléatoires	12
IV.5	Systèmes définis par une équation aux différences	12
IV.6	Analyse par les variables d'état	13
	<i>Bibliographie</i>	13
	<i>Exercices</i>	13
 CHAPITRE V. – LES FILTRES A RÉPONSE IMPULSIONNELLE FINIE (RIF) ...		13
V.1	Présentation des filtres RIF	13
V.2	Fonctions de transfert réalisables et filtres à phase linéaire	13
V.3	Calcul des coefficients par développement en série de Fourier pour des spécifications en fréquence	14

V.4	Calcul des coefficients par la méthode des moindres carrés	146
V.5	Calcul des coefficients par TFD	150
V.6	Calcul des coefficients par approximation de Tchebycheff	151
V.7	Relations entre nombre de coefficients et gabarit de filtre	154
V.8	Filtre à transition en cosinusoïde surélevée	157
V.9	Structures pour la réalisation des filtres RIF	158
V.10	Limitations du nombre de bits des coefficients	160
V.11	Limitation du nombre de bits des mémoires internes	164
V.12	Fonction de transfert en Z d'un filtre RIF	167
V.13	Filtres à déphasage minimal	169
V.14	Calcul des filtres à très grand nombre de coefficients	172
V.15	Filtres RIF à deux dimensions	173
V.16	Calcul des coefficients des filtres RIF-2D par la méthode des moindres carrés	177
	ANNEXE – Exemple de calcul d'un filtre RIF	183
	<i>Bibliographie</i>	184
	<i>Exercices</i>	184
CHAPITRE VI. – CELLULES DE FILTRES A RÉPONSE IMPULSIONNELLE INFINIE		
		186
VI.1	La cellule élémentaire du premier ordre	186
VI.2	La cellule du second ordre purement réursive	191
VI.3	La cellule du second ordre générale	200
VI.4	Structures pour la réalisation	204
VI.5	Limitation du nombre de bits des coefficients	208
VI.6	Limitation du nombre de bits des mémoires de données	209
VI.7	Stabilité et auto-oscillations	211
	<i>Bibliographie</i>	214
	<i>Exercices</i>	214
CHAPITRE VII. – LES FILTRES A RÉPONSE IMPULSIONNELLE INFINIE (RII)		
		216
VII. 1	Expressions générales pour les caractéristiques	216
VII. 2	Calcul direct des coefficients par les fonctions modèles	218
	VII.2.1 Invariance impulsionnelle	219
	VII.2.2 La transformation bilinéaire	220
	VII.2.3 Les filtres de Butterworth	222
	VII.2.4 Les filtres elliptiques	225
	VII.2.5 Calcul d'un filtre quelconque par transformation d'un passe-bas	229
VII. 3	Techniques itératives pour le calcul des filtres RII	231
	VII.3.1 Minimisation de l'erreur quadratique	232
	VII.3.2 Approximation au sens de Tchebycheff	233
VII. 4	Filtres basés sur les fonctions sphéroïdales	235
VII. 5	Les structures représentant la fonction de transfert	237
	VII.5.1 Les structures directes	237
	VII.5.2 Les structures décomposées	240
	VII.5.3 Structures à base de déphaseurs	241

VII.6	Limitation du nombre de bits des coefficients	243
VII.7	Nombre de bits des coefficients en structure cascade	247
VII.8	Bruit de calcul	250
VII.9	Détermination de la capacité des mémoires internes	257
VII.10	Auto-oscillations	260
VII.11	Comparaison entre les filtres RII et RIF	261
ANNEXE	– Programme de calcul des coefficients d'un filtre elliptique (CERII) ..	264
	<i>Bibliographie</i>	268
	<i>Exercices</i>	269
CHAPITRE VIII. – LES STRUCTURES DE FILTRES EN CHAÎNE		271
VIII.1	Propriétés des quadripôles	271
VIII.2	Les filtres en échelle simulée	275
VIII.3	Les dispositifs à commutation de capacités (DCC)	280
VIII.4	Les filtres d'onde	283
VIII.5	Les filtres en treillis	289
VIII.6	Éléments de comparaison	295
	<i>Bibliographie</i>	295
	<i>Exercices</i>	296
CHAPITRE IX. – SIGNAUX COMPLEXES. – FILTRES A DÉPHASAGE MINIMAL		298
IX.1	Transformée de Fourier d'une suite réelle et causale	298
IX.2	Signal analytique	301
IX.3	Calcul des coefficients d'un filtre de quadrature RIF	306
IX.4	Déphaseur à 90° de type récursif	308
IX.5	Modulation à bande latérale unique	310
IX.6	Les filtres à déphasage minimal	311
	<i>Bibliographie</i>	313
	<i>Exercices</i>	313
CHAPITRE X. – FILTRAGE MULTICADENCE		315
X.1	Compléments sur l'échantillonnage	316
X.2	Décomposition d'un filtre RIF passe-bas	319
X.3	Le filtre demi-bande	322
X.4	Décomposition avec filtres demi-bande	326
X.5	Structures de réalisation	331
X.6	Intérêt de la fonction de déphaseur	334
X.7	Filtrage multicadence à éléments RII	339
X.8	Banc de filtrage multicadence par réseau polyphasé et TFD	341
X.9	Conclusion	344
	<i>Bibliographie</i>	345
	<i>Exercices</i>	345

CHAPITRE XI. – BANCS DE FILTRES	347
XI.1 Décomposition et reconstitution	347
XI.2 Analyse des éléments du réseau polyphasé	349
XI.3 Calcul des fonctions inverses	352
XI.4 Les filtres QMF	355
XI.5 Bancs de filtres pseudo-QMF	358
XI.6 Calcul des coefficients du filtre prototype	364
XI.7 Réalisation d'un banc de filtres réels	368
XI.8 Bancs de filtres à décomposition et reconstitution parfaite	371
<i>Bibliographie</i>	373
CHAPITRE XII. – FILTRAGE ADAPTATIF	374
XII. 1 Calcul des coefficients d'un filtre RIF pour des spécifications dans le temps	374
XII. 2 Autocorrélation et intercorrélation	377
XII. 3 Matrice d'autocorrélation. Valeurs propres	379
XII. 4 Estimation récursive	382
XII. 5 L'algorithme du gradient	384
XII. 6 Conditions de convergence	387
XII. 7 Constante de temps	388
XII. 8 Erreur résiduelle	391
XII. 9 Paramètres de complexité	394
XII.10 Algorithmes normalisés. Algorithmes du signe	397
XII.11 Filtre RIF adaptatif en structure cascade	399
XII.12 Filtrage adaptatif RII	401
XII.13 Prédiction linéaire	404
XII.14 Conclusion	408
<i>Bibliographie</i>	409
<i>Exercices</i>	410
CHAPITRE XIII. – CIRCUITS ET ÉLÉMENTS DE COMPLEXITÉ	412
XIII. 1 Représentations binaires	412
XIII. 2 Les types de circuits	415
XIII. 3 Le multiplieur série	417
XIII. 4 Le multiplieur série-parallèle	419
XIII. 5 Le multiplieur parallèle	421
XIII. 6 Comparaison. Arithmétiques distribuée et résiduelle	423
XIII. 7 Les mémoires et les circuits annexes	426
XIII. 8 Les processeurs	427
XIII. 9 Choix de paramètres de complexité	429
XIII.10 Architecture des systèmes	431
<i>Bibliographie</i>	432
<i>Exercices</i>	433

CHAPITRE XIV. – APPLICATIONS AUX TÉLÉCOMMUNICATIONS	435
XIV. 1 Avantages et limitations des techniques numériques	435
XIV. 2 Détection d'une fréquence	437
XIV. 3 Boucle à verrouillage de phase	439
XIV. 4 Multiplexage à répartition temporelle MIC	441
XIV. 5 Codage MIC-Différentiel	442
XIV. 6 Multiplexage à répartition en fréquence. Transmultiplexeur	446
XIV. 7 Codage du son	449
XIV. 8 Synthétiseur de parole	450
XIV. 9 Modems	451
XIV.10 Annulation d'écho	452
XIV.11 Traitement des images de Télévision	454
XIV.12 Transmission multiporteuse-OFDM	456
BIBLIOGRAPHIE	460
EXERCICES – ÉLÉMENTS DE RÉPONSE ET INDICATIONS	461
INDEX ALPHABÉTIQUE	469
AIDE-MÉMOIRE – FILTRES NUMÉRIQUES	476

CONTENTS

CHAPTER I : Signal Digitization – Sampling and Coding	23
CHAPTER II : Discrete Fourier Transform and FFT algorithms	65
CHAPTER III : Other Fast Algorithms for the DFT	98
CHAPTER IV : Time Invariant Discrete Linear Systems	121
CHAPTER V : Finite Impulse Response Filters (FIR)	135
CHAPTER VI : Infinite Impulse Response Filter Sections	186
CHAPTER VII : Infinite Impulse Response Filters (IIR)	216
CHAPTER VIII : Two-Port Filter Structures	271
CHAPTER IX : Complex Signals – Minimum Phase Filters	298
CHAPTER X : Multirate Filtering	315
CHAPTER XI : Filter banks	347
CHAPTER XII : Adaptive Filters	374
CHAPTER XIII : Circuits and Complexity Parameters	412
CHAPTER XIV : Applications in Telecommunications	435
EXERCISES : Hints and answers	461
INDEX	469