
Table des matières

Avant-propos	11
Introduction	13
Chapitre 1. Rappels	17
1.1. Introduction	17
1.2. Les opérations et fonctions usuelles	17
1.2.1. Produit de convolution	17
1.2.2. Produit scalaire	18
1.2.3. Fonction de Dirac, impulsion de Dirac et symbole de Kronecker	18
1.2.4. Fonction échelon	19
1.2.5. Fonction porte	19
1.3. Les transformées usuelles	19
1.3.1. La transformée de Fourier	19
1.3.2. La transformée en z	21
1.4. Rappels de probabilités	22
1.4.1. Variables aléatoires discrètes	22
1.4.2. Variables aléatoires continues	24
1.4.3. Inégalité de Jensen	24
1.4.4. Signaux aléatoires	25
1.5. Rappels de traitement numérique du signal	28
1.5.1. Echantillonnage : théorème	28
1.5.2. Systèmes discrets, linéaires et invariants dans le temps	29
1.5.3. Filtres à réponse impulsionnelle finie	31
1.5.4. Filtres à réponse impulsionnelle infinie	31

Chapitre 2. Transmissions en bande de base	33
2.1. Introduction	33
2.2. Les codes en ligne	34
2.2.1. Code non retour à zéro (NRZ)	34
2.2.2. Code retour à zéro (RZ) unipolaire	36
2.2.3. Code retour à zéro (RZ) bipolaire simple	38
2.2.4. Code biphasé ou <i>Manchester</i>	39
2.2.5. Code bipolaire ou AMI	40
2.2.6. Code de Miller	42
2.2.7. Code non retour à zéro avec inversion sur les 1 (NRZI)	44
2.2.8. Code MLT-3 (<i>Multi Level Transmit 3</i>)	45
2.2.9. Codes RLL(d,k)	45
2.2.10. Code NRZ M-aire	47
2.3. Le canal à bruit blanc additif gaussien	49
2.4. Réception optimale pour le canal à bruit blanc additif gaussien	51
2.4.1. Introduction	51
2.4.2. Structure du modulateur	51
2.4.3. Récepteur optimal pour un canal à bruit blanc additif gaussien	56
2.4.4. Calcul du taux d'erreur binaire pour un signal NRZ sur un canal à bruit blanc additif gaussien	62
2.5. Critère de Nyquist	69
2.5.1. Introduction	69
2.5.2. Canal de transmission	70
2.5.3. Diagramme de l'œil	71
2.5.4. Critère de Nyquist	72
2.5.5. Filtres d'émission et de réception avec filtre adapté	76
2.6. Conclusion	78
2.7. Exercices	78
2.7.1. Exercice 1 : densité spectrale de puissance de différents codes en ligne	78
2.7.2. Exercice 2 : code biphasé	79
2.7.3. Exercice 3 : étude d'un système d'enregistrement magnétique	79
2.7.4. Exercice 4 : code en ligne et effacement	81
2.7.5. Exercice 5 : modulation NRZ à quatre niveaux	82
2.7.6. Exercice 6 : filtre de mise en forme gaussien	83
2.7.7. Exercice 7 : critère de Nyquist	83
2.7.8. Exercice 8 : filtre en cosinus surélevé	84

Chapitre 3. Modulations numériques	85
3.1. Introduction	85
3.2. Transmission en bande transposée et chaîne passe-bas équivalente	86
3.2.1. Signal à bande étroite	86
3.2.2. Passage d'un signal à bande étroite dans un canal passe-bande	90
3.2.3. Enveloppe complexe d'un processus aléatoire du second ordre	92
3.2.4. Détection synchrone	96
3.3. Modulations numériques linéaires en bande transposée	98
3.3.1. Principes généraux des modulations linéaires	98
3.3.2. Paramètres d'une modulation de M symboles	102
3.3.3. Modulations par déplacement d'amplitude	103
3.3.4. Modulations par déplacement de phase	109
3.3.5. Modulations en quadrature	116
3.3.6. Lien entre $\frac{E_b}{N_0}$ et le rapport signal à bruit en puissance	121
3.3.7. Densité spectrale de puissance des modulations régulières	122
3.3.8. Conclusion	123
3.4. Modulations par déplacement de fréquence	124
3.4.1. Définitions	124
3.4.2. FSK à phase discontinue	125
3.4.3. FSK à phase continue	126
3.4.4. Démodulation	128
3.4.5. Modulation GMSK	131
3.4.6. Performances	132
3.5. Conclusion	135
3.6. Exercices	136
3.6.1. Exercice 1 : constellations des modulations QAM-8	136
3.6.2. Exercice 2 : modulation ASK irrégulière	136
3.6.3. Exercice 3 : comparaison de deux modulations PSK	137
3.6.4. Exercice 4 : comparaison des modulations QAM et PSK	137
3.6.5. Exercice 5 : comparaison des modulations 8-PSK et 8-QAM	138
3.6.6. Exercice 6 : comparaison des modulations 2-FSK et 2-ASK	139
3.6.7. Exercice 7 : comparaison des modulations 16-QAM et 16-FSK	140

Chapitre 4. Synchronisation et égalisation	141
4.1. Introduction	141
4.2. Synchronisation	142
4.2.1. Correction du décalage en fréquence	144
4.2.2. Synchronisation du rythme	149
4.2.3. Estimation du canal avec séquence d'apprentissage	151
4.2.4. Borne de Cramer-Rao	152
4.3. Egalisation	154
4.3.1. Canal introduisant des distorsions	155
4.3.2. Représentation discrète du canal avec interférence entre symboles et filtre blanchisseur	156
4.3.3. Egalisation linéaire	158
4.3.4. Egaliseur avec retour de décision	171
4.3.5. Egalisation avec critère du maximum de vraisemblance	173
4.4. Conclusion	178
4.5. Exercices	179
4.5.1. Exercice 1 : estimation d'une constante dans un bruit	179
4.5.2. Exercice 2 : correction du décalage en fréquence	179
4.5.3. Exercice 3 : égalisation ZF	180
4.5.4. Exercice 4 : égalisation MMSE	180
4.5.5. Exercice 5 : égalisation DFE-MMSE	181
4.5.6. Exercice 6 : égalisation MLSE avec un registre à décalage	181
4.5.7. Exercice 7 : égalisation MLSE avec deux registres à décalage	182
Chapitre 5. Modulations multiporteuses	183
5.1. Introduction	183
5.2. Principes généraux des modulations multiporteuses	185
5.2.1. Transmission parallèle sur les sous-porteuses	185
5.2.2. Modulations multiporteuses sans recouvrement : FMT	187
5.2.3. Modulations multiporteuses avec recouvrement	187
5.2.4. Structure du chapitre	188
5.3. OFDM	188
5.3.1. Emission et réception en OFDM	189
5.3.2. Principe du préfixe cyclique	191
5.3.3. Allocation optimale de puissance en OFDM	197
5.3.4. PAPR	201
5.3.5. Sensibilité à la désynchronisation	205
5.3.6. Techniques de synchronisation en OFDM	206
5.4. FBMC/OQAM	210
5.4.1. Principes du FBMC/OQAM à temps continu	211
5.4.2. Formulation à temps discret pour le FBMC/OQAM	215

5.4.3. Choix du filtre prototype	217
5.5. Conclusion	221
5.6. Exercices	221
5.6.1. Exercice 1	221
5.6.2. Exercice 2	222
Chapitre 6. Modulations codées	223
6.1. Les réseaux de points	224
6.1.1. Définitions	224
6.1.2. Propriétés de groupe d'un réseau de points	229
6.1.3. Classification des réseaux de points	231
6.1.4. Evaluation des performances sur le canal à bruit blanc additif gaussien	234
6.2. Modulations codées en blocs	237
6.2.1. Principales constructions algébriques des réseaux de points	238
6.2.2. Construction des modulations codées en blocs	240
6.3. Modulations codées en treillis	251
6.3.1. Construction des modulations codées en treillis	251
6.3.2. Décodage des modulations codées en treillis	255
6.4. Conclusion	256
Annexe A. Calcul de la densité spectrale de puissance d'un signal émis en bande de base	257
Annexe B. Implémentation polyphase de bancs de filtres pour le FBMC/OQAM	261
Glossaire	267
Notations	269
Bibliographie	271
Index	277
Sommaire du volume 1	279