

Table des matières

Avant-propos	1
Partie 1. Théorie de l'information	3
Introduction de la partie 1	5
Chapitre 1. Introduction aux télécommunications	7
1.1. Rôle d'un système de communication	7
1.1.1. Types de services offerts par les systèmes de communication. . .	8
1.1.2. Exemples de services de télécommunications	9
1.2. Principe de la communication	10
1.3. Tendances vers les communications numériques	12
Chapitre 2. Mesure de l'information d'une source discrète et capacité d'un canal	15
2.1. Introduction et définitions	15
2.2. Exemples de sources discrètes.	16
2.2.1. Source simple (sans mémoire)	16
2.2.2. Source discrète à mémoire.	16
2.2.3. Source ergodique : source stationnaire à mémoire finie	17
2.2.4. Source/chaîne de Markov d'ordre 1	17
2.3. Incertitude, quantité d'information et entropie	18
2.3.1. Entropie d'une source	20
2.3.2. Lemme fondamental	20

2.3.3. Propriétés de l'entropie	21
2.3.4. Exemples d'entropies.	21
2.4. Débit d'information et redondance d'une source	22
2.5. Canaux discrets et entropies	22
2.5.1. Entropies conditionnelles	24
2.5.2. Relations entre les diverses entropies	26
2.6. Information mutuelle	27
2.7. Capacité, redondance et efficacité d'un canal discret	28
2.7.1. Théorème de Shannon : capacité d'un système de communication.	29
2.8. Entropies à k variables aléatoires	31

Chapitre 3. Codage de source pour canaux sans perturbations 33

3.1. Introduction.	33
3.2. Intérêt des codes binaires.	33
3.3. Codes à décodage unique.	34
3.3.1. Code régulier	35
3.3.2. Code à décodage unique (déchiffable)	35
3.3.3. Code instantané (irréductible).	36
3.3.4. Préfixe	36
3.3.5. Synthèse d'un code binaire instantané.	37
3.3.6. Théorème de Kraft et de McMillan	38
3.4. Longueur moyenne des mots-code	38
3.4.1. Efficacité du codage en termes de vitesse de transmission.	38
3.4.2. Longueur moyenne minimale \overline{l}_{min} des mots-code	39
3.5. Capacité, efficacité et redondance d'un code	40
3.6. Codes optimaux absolus	40
3.7. Extension d'ordre k d'une source.	41
3.7.1. Entropie de l'extension d'ordre 2 d'une source $[S]$	41
3.7.2. Intérêt du codage de l'extension sur un exemple simple	42
3.8. Premier théorème de Shannon.	43
3.9. Synthèse des codes binaires optimaux	44
3.9.1. Code de Fano-Shannon	44
3.9.2. Code de Huffman	45

Chapitre 4. Codage de canal pour canaux à perturbations. 49

4.1. Introduction.	49
4.2. Second théorème de Shannon	50
4.3. Stratégies de correction d'erreurs.	50
4.4. Classification des codes détecteurs ou correcteurs d'erreurs	51
4.5. Définitions liées aux performances des codes.	51

4.5.1. Rendement	52
4.5.2. Poids d'un code linéaire ou poids de Hamming	52
4.5.3. Distance de Hamming	52
4.6. Forme de la décision	53
4.6.1. Décodage par maximum de vraisemblance <i>a posteriori</i>	54
4.7. Codes-groupe linéaires	55
4.7.1. Notion de boule de décodage : théorème de Hamming	56
4.7.2. Matrice génératrice $[G]$ et matrice de test $[H]$	57
4.7.3. Détection et correction des erreurs	60
4.7.4. Applications : codes de Hamming ($r = 1$)	61
4.7.5. Circuits de codage et de décodage	64
4.7.6. Extension des codes de Hamming	65
4.7.7. Relations entre les colonnes de la matrice $[H']$	66
4.8. Codes cycliques	67
4.8.1. Introduction	67
4.8.2. Expression d'une permutation circulaire	69
4.8.3. Polynôme générateur $g(x)$, matrice génératrice $[G]$ et théorème des codes cycliques	70
4.8.4. Code dual généré par $h(x)$ et matrice de contrôle de parité $[H]$	73
4.8.5. Construction des mots-code ou codage	74
4.9. Registre à décalage à réaction (RDR) et ses applications	85
4.9.1. Propriétés	86
4.9.2. Codeur et décodeur à registre à décalage à réaction	87
4.9.3. Codage par multiplication : code non systématique	95
4.9.4. Détection des erreurs types dans les codes cycliques	98
4.9.5. Générateurs de séquences pseudo-aléatoires : séquences-M, Gold, Kasami et Trivium	100

Partie 2. Transmissions numériques en bande de base et avec modulation de porteuses 119

Introduction de la partie 2. 121

Chapitre 5. Le codage binaire à M-aire et le codage M-aire à signal : les codes en ligne 125

5.1. Présentation et typologie	125
5.2. Critères de choix d'un code en ligne	127
5.3. Densité spectrale de puissance (DSP) d'un code en ligne	128
5.4. Description et caractérisation spectrale des principaux codes en ligne linéaires à symboles successifs indépendants	129

- 5.4.1. Code NRZ binaire (non-retour à zéro) : code à deux niveaux, avec deux types de code 130
- 5.4.2. Code NRZ M-aire. 133
- 5.4.3. Code RZ binaire (retour à zéro). 134
- 5.4.4. Code RZ polaire. 136
- 5.4.5. Code biphasé binaire (code Manchester) 138
- 5.4.6. Code biphasé binaire Mark ou différentiel (code Manchester Mark) 140
- 5.5. Description et caractérisation spectrale des principaux codes en ligne non linéaires non alphabétiques à symboles successifs dépendants 141
 - 5.5.1. Code de Miller. 142
 - 5.5.2. Code bipolaire RZ ou AMI (*Alternate Marked Inversion*) 143
 - 5.5.3. Code CMI (*Code Marked Inversion*) 145
 - 5.5.4. Code HDB-n (haute densité bipolaire d'ordre n) 147
- 5.6. Description et caractérisation spectrale des codes en ligne linéaires à réponse partielle. 149
 - 5.6.1. Génération et intérêt du précodage. 149
 - 5.6.2. Structure du codeur et du précodeur 151
 - 5.6.3. Densité spectrale de puissance des codes en ligne linéaires à réponse partielle 154
 - 5.6.4. Codes à réponse partielle les plus usuels 156

Chapitre 6. Transmission sur un canal passe-bas d'un signal numérique M-aire 169

- 6.1. Introduction. 169
- 6.2. Systèmes numériques et normalisation pour les hauts débits. 170
- 6.3. Modélisation de la transmission à travers la chaîne de communication d'un signal numérique M-aire 172
 - 6.3.1. Largeur de bande énergétique équivalente Δf_e d'un filtre passe-bas 176
- 6.4. Caractérisation de l'interférence intersymbole (IIS) : diagramme de l'œil 177
- 6.5. Probabilité d'erreur P_e 181
 - 6.5.1. Cas des symboles binaires $\alpha_k = \pm 1$ 182
 - 6.5.2. Cas du code RZ binaire 187
 - 6.5.3. Cas général des symboles M-aires 188
 - 6.5.4. Cas du code bipolaire. 194
- 6.6. Conditions d'absence d'interférence intersymbole : critères de Nyquist 197

6.6.1. Critère temporel de Nyquist	197
6.6.2. Critère fréquentiel de Nyquist	197
6.6.3. Interprétation du critère fréquentiel de Nyquist	198
6.7. Répartition optimale du filtrage entre l'émission et la réception	206
6.7.1. Expression de la probabilité d'erreur minimale pour un canal passe-bas vérifiant le critère de Nyquist	212
6.8. Transmission avec un codeur linéaire à réponse partielle	212
6.8.1. Transmission utilisant le code duobinaire	214
6.8.2. Transmission utilisant le code bipolaire entrelacé d'ordre 2	216
6.8.3. Réception des codes à réponse partielle	217
6.8.4. Probabilité d'erreur P_e	220

Chapitre 7. Transmissions numériques avec modulation

de porteuses	225
7.1. Introduction et schéma de principe d'une transmission numérique radioélectrique	225
7.2. Techniques d'accès multiple et normes les plus répandues	227
7.3. Structure d'une liaison hertzienne, d'une liaison par satellite et d'un canal radiomobile	232
7.3.1. Structure d'une liaison hertzienne (un bond)	232
7.3.2. Structure d'une liaison par satellite	232
7.3.3. Structure d'un canal radiomobile	233
7.4. Effets des chemins multiples et des non-linéarités des amplificateurs de puissance	234
7.4.1. Effets des chemins multiples : cas simple d'un trajet direct et d'un trajet retardé	234
7.4.2. Effets des non-linéarités des amplificateurs de puissance	237
7.5. Modulations numériques linéaires sur fréquences porteuses	238
7.5.1. Principe	238
7.5.2. Caractéristiques générales du signal modulé $s(t)$	239
7.6. Modulations numériques linéaires en quadrature : structure générale du modulateur, diagramme spatial, diagramme de constellation et choix d'une constellation	243
7.6.1. Structure générale du modulateur	244
7.6.2. Diagramme spatial (ou vectoriel) et diagramme de constellation	245
7.6.3. Choix d'une constellation	247
7.7. Transmission numérique radioélectrique et transmission équivalente en bande de base : enveloppe complexe	247
7.7.1. Transmission numérique équivalente en bande de base : enveloppe complexe	249

7.8. Transmission équivalente en bande de base, intérêt et justification : signal analytique et enveloppe complexe.	252
7.8.1. Intérêt : simplification importante de la simulation numérique	252
7.8.2. Signal analytique et enveloppe complexe d'un signal modulé.	253
7.9. Relation entre filtre passe-bande H et filtre passe-bas équivalent H_e	254
7.9.1. Probabilité d'erreur	259
7.10. Modulation par déplacement de phase à M états : MDP-M (M -ary <i>Phase Shift Keying</i> , M-PSK)	259
7.10.1. Modulation et démodulation MDP-2 (<i>Binary Phase Shift Keying</i> , BPSK)	260
7.10.2. Modulation et démodulation MDP-4 (<i>Quaternary Phase Shift Keying</i> , QPSK)	263
7.10.3. Récepteur MDP-M différentiel	268
7.10.4. Modulation et démodulation MDP-4 avec décalage temporel (<i>Offset Quaternary Phase Shift Keying</i> , OQPSK).	272
7.11. Modulation par déplacement d'amplitude en quadrature à M états : MDAQ-M (M -ary <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> , M-QAM)	275
7.12. Présentation détaillée de la modulation et de la démodulation MDAQ-16.	276
7.12.1. Occupation spectrale du signal MDAQ-16	278
7.13. Modulation par déplacement d'amplitude et de phase : MDAP (<i>Amplitude and Phase Shift Keying Modulation</i> , modulation APSK)	281
7.13.1. Modulation CIR (4, 4, 4, 4) : 4 amplitudes, 4 phases (recommandation V29 de la CCITT de 1980)	281
7.14. Étude détaillée de la modulation et de la démodulation MDP-8 (<i>Eight-Phase PSK</i> , 8-PSK)	283
7.14.1. Codage et décodage différentiel de la modulation MDP-8	285
7.14.2. Réalisation du codeur et du décodeur différentiel par simulation sous Simulink (Matlab) et par implantation matérielle à base d'une mémoire ROM ou EPROM	287
7.15. Performances des modulations en occupation et efficacité spectrale	292

Bibliographie	293
--------------------------------	------------

Index	297
------------------------	------------

Sommaire de Communications numériques 2	303
----------------------------------------------------------	------------