

Table des matières

I	Signaux temporels	10
1	Introduction	11
1.1	Définition d'un signal	11
1.2	Classification des signaux	11
1.2.1	Signaux continus et discrets	11
1.2.2	Signaux déterministes et aléatoires	12
1.3	Conclusions et extensions	15
2	Signaux déterministes à temps continu	16
2.1	Représentation temporelle	16
2.2	Transformations et représentation fréquentielle (rappels)	17
2.2.1	Représentation d'un signal périodique par une série de Fourier	17
2.2.2	Transformation de Fourier	19
2.2.3	Transformation de Laplace	22
2.2.4	Lien entre transformées de Fourier et Laplace	22
2.3	Filtrage (rappels)	22
2.3.1	Définitions	22
2.3.2	Propriétés des filtres	23
2.4	Energie, puissance, corrélation	26
2.4.1	Energie et puissance en représentation temporelle	27
2.4.2	Propriétés des signaux à énergie finie	28
2.4.3	Propriétés des signaux à puissance moyenne finie	38
2.5	Conclusions et extensions	41
2.6	Annexe A : grandeurs liées à l'énergie et la puissance	41
2.7	Annexe B : signe du coefficient de corrélation	42
3	Probabilités	43
3.1	Définitions	43
3.2	Opérations sur les événements	44
3.3	Tribu	44
3.4	Espaces probabilisables et probabilisés	46
3.5	Approche fréquentiste de la probabilité	46
3.6	Diagramme de Venn, masse de probabilité	47
3.7	Propriétés des probabilités	48
3.8	Probabilité conditionnelle, théorème de Bayes	50
3.8.1	Probabilité conditionnelle	50
3.8.2	Théorème de la probabilité totale	52
3.8.3	Théorème de Bayes	53
3.9	Indépendance	53
3.9.1	Cas de 2 événements	53
3.9.2	Cas de m événements	54
3.10	Conclusions et extensions	54

4	Variable aléatoire réelle unique	55
4.1	Définition et caractérisations d'une variable aléatoire	55
4.1.1	Motivation	55
4.1.2	Définition d'une variable aléatoire réelle	56
4.1.3	Loi de probabilité	58
4.1.4	Fonction de répartition	58
4.1.5	Variables aléatoires discrètes et continues, densité	66
4.1.6	Caractéristiques expérimentales correspondantes	71
4.1.7	Exemples importants de variables aléatoires	73
4.1.8	Fonction de répartition et densité conditionnelles	79
4.2	Fonctions d'une unique variable aléatoire	82
4.2.1	Espérance	82
4.2.2	Fonction $g(X)$ d'une variable aléatoire	88
4.2.3	Variable aléatoire centrée	91
4.2.4	Moments : cas général	92
4.2.5	Moments d'ordre 2, variance	93
4.2.6	Fonction caractéristique	95
4.3	Conclusions et extensions	98
5	Couple et vecteur de variables aléatoires réelles	99
5.1	Couple de variables aléatoires	99
5.1.1	Loi de probabilité conjointe	99
5.1.2	Fonction de répartition conjointe	99
5.1.3	Cas discret et continu, densité conjointe	102
5.1.4	Propriétés statistiques marginales	103
5.1.5	Fonctions de répartition, densités et probabilités conditionnelles	105
5.1.6	Couple de variables aléatoires indépendantes	105
5.2	Fonctions d'un couple de variables aléatoires	106
5.2.1	Fonction unique de deux variables aléatoires	106
5.2.2	Moments croisés : cas général	107
5.2.3	Moments croisés d'ordre 2, corrélation, covariance	109
5.2.4	Fonction caractéristique conjointe	115
5.2.5	Couple de fonctions de deux variables aléatoires	116
5.3	Vecteur aléatoire	118
5.4	Conclusions et extensions	121
6	Signaux aléatoires réels	122
6.1	Signal aléatoire unique	122
6.1.1	Définition	122
6.1.2	Propriétés statistiques d'un signal aléatoire	126
6.1.3	Stationnarité	129
6.1.4	Caractéristiques des signaux aléatoires stationnaires à l'ordre 2	131
6.1.5	Ergodisme et estimation des propriétés statistiques d'un signal aléatoire	133
6.1.6	Bruit blanc	136
6.2	Couple de signaux aléatoires	137
6.2.1	Principe	137
6.2.2	Résultats principaux	137
6.3	Vecteur de signaux aléatoires	138
6.4	Conclusions et extensions	139
6.5	Annexe A : autre expression de la DSP	139
6.6	Annexe B : variables et signaux aléatoires complexes	139

II	Traitement d'antenne	141
7	Position du problème	142
7.1	Système considéré	142
7.2	Objectif	143
7.3	Méthodes actives et passives	143
7.4	Domaines d'application	143
7.5	Conclusions et extensions	144
8	Signaux spatiotemporels et antennes	145
8.1	Signaux spatiotemporels	145
8.1.1	Définition	145
8.1.2	Equation d'onde	145
8.1.3	Solutions particulières de l'équation d'onde	145
8.2	Espace vecteur d'onde - pulsation temporelle	148
8.2.1	Transformation de Fourier des signaux spatiotemporels	148
8.2.2	Filtrage dans l'espace vecteur d'onde - pulsation temporelle	148
8.3	Antenne	149
8.3.1	Capteurs et signaux associés	149
8.3.2	Antenne à sommation pure : structure et expression de la sortie	153
8.3.3	Directivité	154
8.3.4	Echantillonnage spatial et repliement	159
8.3.5	Synthèse des propriétés de l'antenne	164
8.4	Conclusions et extensions	164
8.5	Annexe : autres représentations de la directivité	164
9	Méthodes conventionnelles de formation de voie	167
9.1	Formation de voie par retard et sommation	167
9.1.1	Capteurs et signaux associés	167
9.1.2	Structure générale de l'antenne	167
9.1.3	Choix des filtres du vecteur de pondération	168
9.1.4	Sortie	169
9.1.5	Directivité	170
9.2	Antenne avec placement du lobe principal et des zéros	173
9.2.1	Capteurs et signaux associés	173
9.2.2	Structure de l'antenne	175
9.2.3	Principe de choix des filtres de pondération	175
9.2.4	Valeurs des filtres : cas d'une antenne à deux capteurs	175
9.2.5	Valeurs des filtres : cas d'une antenne à N capteurs	177
9.3	Conclusions et extensions	180
10	Traitement d'antenne adaptatif	181
10.1	Matrice de corrélation spatiospectrale des observations	181
10.2	Méthodes à optimisation sous contrainte	182
10.2.1	Cas général	182
10.2.2	Méthode de formation de voie à variance minimale	183
10.3	Méthodes fondées sur les sous-espaces	190
10.3.1	Capteurs et signaux associés	190
10.3.2	Expressions de la matrice de corrélation spatiospectrale des observations	191
10.3.3	Propriétés de la matrice de corrélation spatiospectrale des observations	193
10.3.4	Algorithme	196
10.4	Conclusions et extensions	197

III Séparation aveugle de sources (SAS)	198
11 Concepts généraux	199
11.1 Objectif de la SAS	199
11.2 Conditions d'étude générales	200
11.2.1 Signaux observés	200
11.2.2 Signaux sources	201
11.2.3 Modèle de mélange	202
11.3 Classes de mélanges usuelles	203
11.3.1 Mélanges Linéaires Instantanés (LI)	203
11.3.2 Mélanges anéchoïques (ou à atténuations et retards)	204
11.3.3 Mélanges convolutifs	205
11.4 Principes majeurs des méthodes de SAS pour mélanges LI	206
11.4.1 Système de séparation	206
11.4.2 Analyse en Composantes Indépendantes et méthodes liées	209
11.4.3 Analyse en composantes parcimonieuses	212
11.4.4 Factorisation en matrices non négatives	219
11.5 Conclusions et extensions	220
12 Méthodes fondées sur les moments ou cumulants	221
12.1 Position du problème	221
12.1.1 Conditions d'étude et notations	221
12.1.2 Structure du chapitre	222
12.2 Cumulants d'une unique variable aléatoire	223
12.2.1 Définition	223
12.2.2 Lien avec les moments	224
12.2.3 Autres propriétés, intérêt	225
12.2.4 Définitions et propriétés liées au kurtosis	226
12.3 Cumulants d'un vecteur aléatoire	228
12.3.1 Définition	228
12.3.2 Lien avec les moments	229
12.3.3 Autres propriétés, intérêt	231
12.4 Capacités et limitations des statistiques d'ordre 2 en SAS	232
12.4.1 Principe et insuffisance du blanchiment	232
12.4.2 Intérêt du blanchiment	233
12.4.3 Exemple de méthode de blanchiment	234
12.5 Méthode simple à fonctions non linéaires ou moments	235
12.5.1 Structure du système de séparation de Héroult-Jutten	235
12.5.2 Existence d'une solution	237
12.5.3 Algorithme d'adaptation : cas général des fonctions non linéaires	238
12.5.4 Algorithme d'adaptation : cas des moments croisés (3,1)	241
12.6 Méthode simple à cumulants de toutes les sorties	243
12.6.1 Principe de la méthode	243
12.6.2 Limitations de la méthode	245
12.7 Méthodes performantes à cumulants de toutes les sorties	246
12.7.1 Principe général	246
12.7.2 Méthode COM2	247
12.7.3 Méthode JADE	247
12.7.4 Notion de méthodes MIMO et MISO	247
12.8 Méthode performante à kurtosis d'une unique sortie	248
12.8.1 Critère de séparation et méthode à déflation	248
12.8.2 Algorithmes d'optimisation du kurtosis : montée en gradient et FastICA	252
12.8.3 Limitations de l'approche	254
12.9 Conclusions et extensions	254
12.10 Annexe : skewness	254

13 Méthode de SAS fondée sur la vraisemblance	255
13.1 Conditions d'étude et notations	255
13.2 Méthode du maximum de vraisemblance	255
13.2.1 Critère de séparation	255
13.2.2 Gradient de la log-vraisemblance	259
13.2.3 Optimisation par montée en gradient et mise en œuvre de la méthode	260
13.3 Conclusions et extensions	261
14 Théorie de l'information et application à la SAS	262
14.1 Position du problème	262
14.1.1 Conditions d'étude et notations	262
14.1.2 Structure du chapitre	262
14.2 Entropie	262
14.2.1 Objectif	262
14.2.2 Mesure d'incertitude d'une expérience : cas d'issues équiprobables	263
14.2.3 Entropie d'une expérience : cas général	265
14.2.4 Entropie d'une variable aléatoire réelle discrète	266
14.2.5 Propriétés de l'entropie	268
14.3 Entropie conjointe, entropie conditionnelle	271
14.3.1 Commentaires préliminaires sur deux cas particuliers	271
14.3.2 Démonstration pour des expériences quelconques	272
14.3.3 Application aux variables aléatoires réelles discrètes	274
14.3.4 Propriétés de l'entropie conditionnelle	275
14.4 Information mutuelle	277
14.4.1 Définition	277
14.4.2 Propriétés	277
14.5 Cas de variables aléatoires réelles continues	280
14.5.1 Entropie différentielle	280
14.5.2 Entropies différentielles conjointe et conditionnelle	280
14.5.3 Information mutuelle	281
14.5.4 Propriétés	282
14.6 Méthode de SAS fondée sur l'information mutuelle des sorties	283
14.6.1 Critère de séparation	283
14.6.2 Expressions de l'information mutuelle des sorties	284
14.6.3 Gradient de l'information mutuelle des sorties	285
14.6.4 Lien avec l'approche fondée sur la vraisemblance	286
14.7 Méthode de SAS fondée sur le principe « infomax »	287
14.7.1 Structure du système de séparation	287
14.7.2 Critère de séparation	287
14.7.3 Lien avec les approches précédentes	288
14.8 Méthode de SAS à négentropie d'une unique sortie	288
14.8.1 Notion complémentaire de théorie de l'information : négentropie	288
14.8.2 Méthode de SAS fondée sur la négentropie ; montée en gradient et FastICA	290
14.9 Conclusions et extensions	292
14.10 Annexe : dérivée de l'entropie différentielle	292
Références	295
Notations et abréviations	302
Index	303