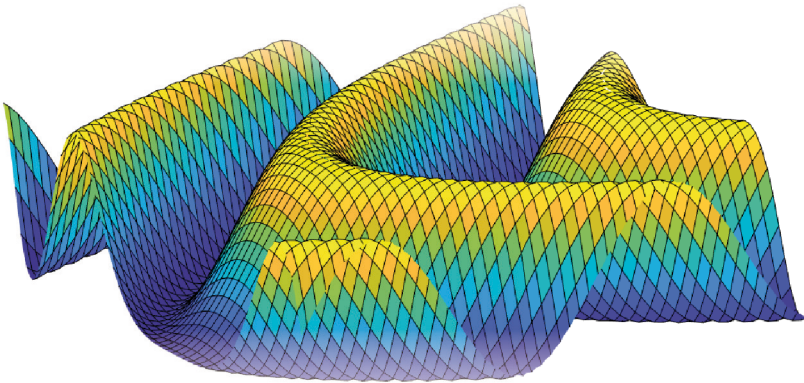


André Quinquis, Ali Mansour et Emanuel Radoi

Signaux et Systèmes

Signaux, filtrage et décision



André Quinquis, Ali Mansour et Emanuel Radoi

Signaux et Systèmes

Signaux, filtrage et décision

Lavoisier
hermes

Direction éditoriale : Jean-Marc Bocabeille

© 2019, Lavoisier, Paris
ISBN : 978-2-7462-4859-5

Collection
Information numérique
Traitement, interprétation, communication

dirigée par Olivier Rioul

Professeur, Télécom ParisTech,
Université Paris-Saclay, Paris

Comité éditorial

Gérard Blanchet, Professeur émérite, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris.

Isabelle Bloch, Professeur, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris.

Valérie Fernandez, Professeur, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris.

Benoît Geller, Professeur, ENSTA ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris.

Remerciements : Les auteurs adressent leurs vifs remerciements à David DECLERCQ, professeur des Universités à ENSEA, Cergy-Pontoise, pour sa participation, sous la direction d'André QUINQUIS à la première édition de ces ouvrages. Les auteurs aussi souhaitent adresser leurs vifs remerciements à Olivier RIOUL, professeur à Telecom ParisTech, pour ses maintes et pertinentes remarques sur l'ouvrage, qui nous ont été une source motivante pour améliorer la qualité de cette édition.

« Ne renoncez jamais à présenter un ouvrage, quel qu'il soit, sous le prétexte dissolvant qu'il n'est pas au point. Jamais rien n'est au point et tout est toujours perfectible. Et tout peut servir de base à un développement que d'autres rendront brillant, même s'il s'éloigne de votre idée première. »

Ingénieur général Henri Sabatier,

Table des matières

1. Quelle est la définition physique d'un signal ?	15
2. Comment distingue-t-on le signal d'un bruit ?	16
3. Comment définir les observations, les données et les informations ? . .	17
4. Qu'est-ce que la théorie du signal et quelles sont ses applications ? . .	18
5. Comment peut-on classer les signaux ?	20
6. Comment décrit-on un signal temporel en fonction de la nature, dis- crète ou continue, de ses axes ?	25
7. Qu'est-ce qu'un signal à bande étroite ?	26
8. Qu'est ce que l'impulsion de Dirac ?	27
9. Qu'est ce que la fonction d'Heaviside ?	29
10. Que représente la composante continue d'un signal ?	30
11. Quelle est l'effet de la modulation d'amplitude sur le spectre d'un signal ?	31
12. Quelles sont les principales différences entre les types de modulations analogiques ?	33
13. Quelles sont les avantages des modulations numériques sur les analo- giques ?	35
14. A quoi sert la transformée de Fourier ?	37
15. Pourquoi change-t-on d'espace de représentation de signaux ?	39
16. Quelles sont les propriétés de la transformée de Fourier ?	42
17. A quoi sert la décomposition en série de Fourier ?	47
18. Quelles sont les conditions de Dirichlet ? Quelles sont les définitions de la série de Fourier ?	49
19. Quelle est la définition de la série de Fourier Complexe ? Quelles sont ses propriétés ?	54
20. Comment peut-on simplifier la décomposition en série de Fourier d'un signal périodique pair ?	57
21. Que décrit la dualité temps-fréquence ?	60
22. Si $x(t)$ est un signal réel et impair alors quelles sont les propriétés de sa TF ?	61

23. Quelle est la transformée de Fourier de la fonction porte ? Quelle est la transformée de Fourier d'un échelon ?	62
24. Quelle est l'allure de la TF d'un signal gaussien ?	65
25. Comment peut-on énoncer le principe d'incertitude en théorie du signal ?	68
26. Quel est le sens physique de la fonction d'autocorrélation ?	74
27. Quelles sont les propriétés de l'autocorrélation des signaux déterministes ?	75
28. Quelle est la particularité de l'autocorrélation d'un signal périodique ?	77
29. Quelle est la différence entre la corrélation de deux fonctions de $\mathcal{L}_2(\mathbb{R})$ et leur convolution ?	78
30. Quelles sont les définitions de la puissance et de l'énergie moyennes d'un signal complexe ou réel ?	80
31. Quelle est la différence entre la DSP et la DSE ?	81
32. Que traduit physiquement l'identité de Parseval pour des signaux à énergie finie ?	83
33. Comment s'énonce l'identité de Parseval pour des signaux périodiques ?	84
34. Si un signal est à énergie finie, que peut-on dire de sa puissance moyenne ? Comment calculer son énergie ?	85
35. En utilisant Parseval, calculer de deux façons différentes l'énergie de $x(t) = te^{-t}u(t)$?	86
36. Quelle est la principale propriété de la DSP d'un signal périodique ? .	88
37. Comment calcule-t-on la DSP d'un signal continu s'il est périodique ? s'il n'est pas périodique ?	89
38. Comment fait-on pour passer d'un signal analogique à un signal numérique ?	90
39. A quoi servent les CNA et CAN ?	91
40. Qu'appelle-t-on bruit de quantification ?	93
41. Quel est le domaine d'application du théorème d'échantillonnage ? . .	95
42. Qu'appelle-t-on « effet de repliement de spectre » ?	98
43. Pourquoi appliquer un filtre passe-bas avant l'échantillonnage d'un signal ?	100
44. Qu'est-ce qu'un échantillonneur bloqueur ?	102
45. Est-on obligé de respecter la fréquence de Shannon pour échantillonner un signal passe-bande ?	103
46. Que devient la restitution d'un signal sinusoïdal si on ne respecte pas la fréquence limite de Shannon ?	106
47. Quelles sont les applications du théorème de Plancherel ?	108
48. Quel est l'effet d'un échantillonnage temporel dans le domaine spectral ?	110
49. Pourquoi doit-on introduire la transformée de Fourier discrète TFD ? .	112
50. Quelle est la relation entre la TFD et la TZ ?	113
51. Quelles sont les particularités de la TFD ?	114
52. Quelles sont les erreurs liées au calcul de la TFD ?	115
53. Que traduit le phénomène de Gibbs ?	116

54. Qu'est ce qu'un signal causal ?	119
55. Qu'est-ce qu'un signal analytique ?	122
56. Quel est l'effet de la transformée de Hilbert ?	125
57. Quelle est la définition d'une fonction aléatoire ?	127
58. Qu'est ce qu'un signal aléatoire ?	128
59. Quelles sont les grandeurs les plus intéressantes pour caractériser une variable aléatoire ?	130
60. Quelles sont les propriétés importantes d'une densité de probabilité ? .	131
61. Quel est le lien entre une densité de probabilité et une fonction de répartition ?	133
62. Quelles sont les propriétés les plus intéressantes des fonctions caractéristiques d'une variable aléatoire ?	135
63. Comment calcule-t-on la densité de probabilité d'une fonction d'une variable aléatoire : changement des variables ?	137
64. Comment estime-t-on une densité de probabilité ?	140
65. Comment définit-on les moments d'une variable aléatoire ?	142
66. Comment estime-t-on les moments d'une variable aléatoire ?	144
67. Comment définit-on la stationnarité au sens strict et au sens large d'un signal aléatoire ?	146
68. Quelle est l'interprétation de la stationnarité au sens large ?	147
69. Pourquoi l'ergodisme d'un processus aléatoire induit-il des simplifications dans un problème ?	148
70. Si un processus est stationnaire, est-il toujours ergodique ?	150
71. Comment définit-on la densité de probabilité conditionnelle ?	152
72. Comment peut-on caractériser deux variables aléatoires décorrélées ? .	154
73. Comment peut-on caractériser deux variables aléatoires indépendantes ?	155
74. Quelle est la densité de probabilité de la somme de deux variables aléatoires indépendantes ?	156
75. Quelle est la définition d'une variable aléatoire uniforme ?	158
76. Quelle est l'interprétation du théorème de la limite centrale ?	159
77. Quelle est la définition d'une densité de probabilité gaussienne ?	161
78. Que peut-on dire de la loi de la quadrature d'une variable gaussienne ?	164
79. Quelle est la définition de la densité de probabilité de Rayleigh ?	166
80. Si X, Y, Z et T sont les composantes d'un vecteur gaussien centré alors que valent $E\{XYZT\}$ et $E\{XYZ\}$?	168
81. Qu'est-ce qu'un processus stochastique gaussien ?	172
82. Qu'est ce qu'un processus aléatoire Markovien ?	173
83. Comment définit-on un bruit blanc et quelles sont ses propriétés ? . . .	175
84. Comment définit-on un bruit pseudo-blanc et quelles sont ses propriétés ?	177
85. Comment est défini le bruit thermique ?	178
86. Un bruit pseudo-blanc peut-il être à densité de probabilité gaussienne ?	179
87. Comment définit-on la bande spectrale équivalente du bruit ?	180

88. Comment choisit-on le nombre de niveaux de quantification pour numériser les réalisations d'une variable aléatoire ?	181
89. Quelles sont les différences entre les moments et les cumulants d'une variable aléatoire ?	186
90. Quelles sont les propriétés des cumulants ?	188
91. Quelle est la « valeur la plus probable » d'une variable aléatoire continue ? Quelle est la différence entre « valeur plus probable », « moyenne » et « médiane » ?	189
92. Comment calcule-t-on la valeur moyenne d'une variable aléatoire continue ?	190
93. Comment interprète-t-on l'écart type ?	191
94. Comment définit-on le coefficient de corrélation ?	193
95. A quoi servent l'asymétrie « Skewness » et l'aplatissement « kurtosis » ?	194
96. Comment calculer la moyenne d'une variable aléatoire uniforme ? . . .	195
97. Comment définit-on la fonction de corrélation dans le cas aléatoire ? .	197
98. Quelle est la différence entre les notions de corrélation et de covariance ?	198
99. Comment peut-on caractériser le contenu spectral d'un signal aléatoire ?	199
100. Quelles sont les principales propriétés de la fonction d'intercorrélation ?	200
101. Quelle est l'expression de la matrice de corrélation d'un processus aléatoire stationnaire ?	203
102. Comment définir la densité spectrale de puissance dans le cas aléatoire ?	204
103. Quelle est l'erreur d'estimation sur la fonction de corrélation ? Sur la densité de probabilité ?	206
104. Quels sont les différents modes de convergence pour une variable aléatoire ?	207
105. Quelle est la distinction entre l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev et le théorème de la limite centrale ?	208
106. Est ce qu'on peut générer un signal non-stationnaire ? Que peut-on dire sur la stationnarité des signaux modulés ?	210
107. Qu'appelle-t-on « système linéaire, continu et invariant » ?	213
108. Pourquoi la convolution joue-t-elle un si grand rôle en traitement du signal ?	214
109. Quel est le lien entre la convolution et le filtrage ?	216
110. Soit un filtre linéaire analogique de réponse impulsionnelle $h(t)$ excité par un signal $x(t)$. Quelle est l'expression de sa sortie $y(t)$?	217
111. Quelles sont les propriétés vérifiées par la transformée en Z ?	218
112. Quelles sont les relations entre les transformées de Fourier, de Laplace et en Z ?	219
113. Quelle est la différence entre la fonction de transfert et le gain complexe ?	221
114. Que représente un pôle pour une fonction de transfert ?	223
115. A quoi peut servir la transformée de Laplace ?	224
116. Quelle définition donne-t-on à la bande passante ?	225
117. Comment définit-on la fréquence de coupure sur une courbe de gain ? .	226

118. Quelle est l'expression type de la fonction de transfert pour un filtre d'ordre deux ?	227
119. Quelle est l'atténuation d'un filtre en fonction de son ordre ?	228
120. Qu'est-ce que la représentation de Bode ?	229
121. A partir de la fonction de transfert d'un filtre passe-bas normalisé, comment obtient-on les passe-haut, passe-bande correspondants ? . . .	232
122. Comment se comporte un système en fonction de la position des pôles de sa fonction de transfert ?	234
123. Si le signal d'entrée d'un système réel est sinusoïdal, comment se comporte le signal de sortie ?	236
124. Pour un système linéaire, comment définit-on le retard de phase et le retard de groupe ?	238
125. Comment déterminer la stabilité d'un système analogique ?	240
126. Quelle est la condition de stabilité d'un filtre numérique ?	242
127. Qu'appelle-t-on système réalisable ?	244
128. Pourquoi un filtre idéal n'est-il pas réalisable physiquement en temps réel ?	245
129. Un filtre linéaire retardant un signal sans déformation est-il réalisable en temps réel ?	246
130. A quoi sert le théorème des résidus ?	247
131. Comment retrouver de deux façons différentes la réponse impulsionnelle d'un système linéaire discret ?	251
132. Qu'est-ce qu'un modèle ARMA ?	253
133. Comment définit-on un gabarit ?	256
134. Que représentent les filtres de Butterworth, Tchebychev, Cauer ?	257
135. Quelle est la particularité, au niveau de la réponse impulsionnelle, d'un filtre discret non-récurif ?	259
136. A quoi sert une fenêtre d'apodisation ?	260
137. Comment synthétise-t-on un filtre numérique récursif par la méthode de l'invariance impulsionnelle ?	264
138. Qu'est-ce que la transformée bilinéaire (TBL) ?	267
139. Comment synthétiser un filtre numérique à réponse impulsionnelle finie ?	269
140. Quelles sont les différences entre les filtres RIF et RII ?	272
141. Quelles sont les paramètres caractéristiques à prendre en compte pour l'implantation d'un filtre numérique ?	273
142. Quelles sont les propriétés intéressantes d'un filtre à minimum de phase ?	275
143. Que nous apprend la formule des interférences ?	277
144. Comment calculer la moyenne d'un signal aléatoire continu $x(t, w)$ par filtrage ?	279
145. Qu'appelle-t-on « moyenne linéaire » et « moyenne exponentielle » d'un signal numérique ?	280
146. Comment mesure-t-on, en pratique, la fonction de transfert d'un système linéaire ?	281

147. Quelle information peut-on extraire de la fonction de cohérence ? . . .	283
148. Quels sont les avantages et inconvénients des communications numériques ?	284
149. Quel est le principe d'une chaîne de communication ?	286
150. Quels sont les intérêts des techniques de modulation ?	288
151. Quels sont les principaux paramètres dictant le choix d'un type de modulation ?	290
152. Donner le sens physique d'un rapport signal sur bruit.	291
153. Définir : détection, estimation, déconvolution, classification.	293
154. Quels sont les quatre principaux critères de détection à structure libre ?	295
155. Comment définit-on la probabilité d'erreur dans un problème de détection ?	297
156. Comment évaluer l'erreur commise sur la réception d'un signal binaire transmis dans un canal fortement bruité ?	300
157. Quel est le critère d'optimisation utilisé dans la théorie du filtre adapté ?	304
158. Comment détecte-t-on un signal déterministe noyé dans un bruit gaussien ?	306
159. Quels sont les différents types d'estimateurs bayésiens ?	308
160. Comment estime-t-on la corrélation d'un processus stationnaire au second ordre ?	310
161. Quelle est la différence entre le corrélogramme et le périodogramme ?	315
162. Quel est le principal défaut du périodogramme standard ? Comment y remédier ?	317
163. Quelles sont les qualités attendues d'un estimateur ?	320
164. Qu'apporte l'analyse spectrale paramétrique par rapport à l'analyse spectrale classique ?	322
165. Quel est l'intérêt du filtrage de Wiener ?	325
166. Qu'apporte le filtrage de Kalman ?	327
167. Qu'apporte la représentation d'état d'un système ?	328
168. Quelles sont les limitations inhérentes à l'analyse spectrale appliquée aux signaux non-stationnaires ?	330
169. Qu'est-ce que le spectrogramme ?	332
170. Comment définit-on une représentation de Wigner-Ville ?	334
171. Qu'apporte au traitement des signaux non-stationnaires la transformée en ondelettes ?	336
172. Quel est le principe des méthodes homomorphiques ?	337
173. Pourquoi dans plusieurs applications une analyse au second ordre est-elle insuffisante ?	339
174. Qu'appelle-t-on bicorrélation d'un processus ?	341

Bibliographie	345
--------------------------------	-----

Formulaire	349
-----------------------------	-----

Glossaire, notations et conventions	357
Index	361

