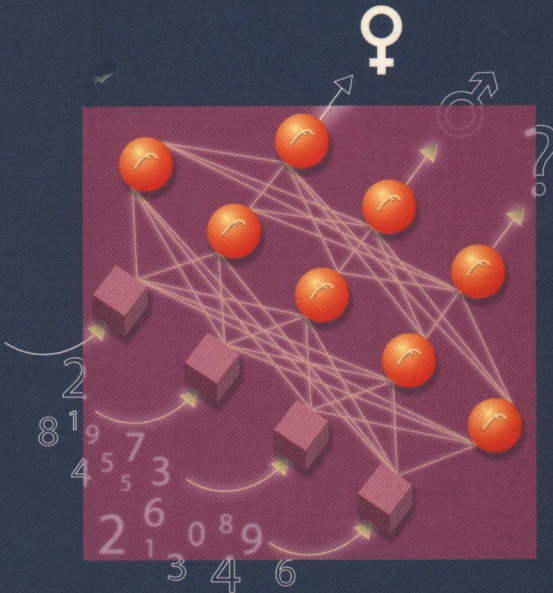


Sciences
et techniques
de l'ingénieur

LÉON PERSONNAZ
ISABELLE RIVALS

Réseaux de neurones formels pour la modélisation, la commande et la classification



Préface de GÉRARD TOULOUSE

TABLE DES MATIÈRES

Préface	XI
Avant-propos	XIII
Remerciements	XV
Conventions de notation	XVII
1 Domaines d'application et exemples d'utilisation des réseaux de neurones formels	1
1.1 Introduction	1
1.2 Domaines d'utilisation	1
1.2.1 Modélisation statique et dynamique de processus	1
1.2.2 Commande de processus	4
1.2.3 Classification	4
1.3 Réseaux de neurones non bouclés	7
1.3.1 Définition du neurone formel	7
1.3.2 Définition des réseaux de neurones non bouclés	9
1.3.3 Comparaison de modèles polynomiaux et neuronaux	14
1.3.4 Exemples de classifieurs neuronaux à deux classes	16
1.3.5 Propriétés des réseaux de neurones non bouclés	19
1.3.6 Apprentissage des réseaux de neurones non bouclés	22
1.4 Réseaux de neurones bouclés	25
1.4.1 Définition des réseaux de neurones bouclés	25
1.4.2 Exemple de modélisation dynamique	27
1.4.3 Exemple de commande de processus	31
1.4.4 Propriétés des réseaux de neurones bouclés	33
1.4.5 Estimation des paramètres des réseaux de neurones bouclés	33

2	Modélisation	37
2.1	Introduction	37
2.2	Modélisation statique	39
2.2.1	Situation du problème et définitions	39
2.2.2	Estimation des paramètres d'un modèle statique linéaire	43
2.2.3	Estimation des paramètres d'un modèle statique neuronal	50
2.2.4	Estimation des paramètres de réseaux de fonctions	70
2.2.5	Exemple illustratif	76
2.2.6	Récapitulation	78
2.2.7	Intervalles de confiance pour la régression avec un modèle linéaire	79
2.2.8	Intervalles de confiance pour la régression avec un modèle non linéaire	88
2.3	Modélisation dynamique	97
2.3.1	Introduction	97
2.3.2	Modèles dynamiques	100
2.3.3	Estimation des paramètres d'un modèle dynamique neuronal	107
2.4	Conclusion	131
3	Sélection de modèles	133
3.1	Introduction	133
3.2	Outils pour la sélection de modèles statiques	134
3.2.1	Erreurs quadratiques et estimation de la performance	135
3.2.2	Classement des régresseurs par orthogonalisation	152
3.2.3	Outils pour l'homologation de modèles candidats	158
3.2.4	Tests d'hypothèses	162
3.2.5	Illustration	178
3.2.6	Récapitulation	182
3.3	Procédure pour la sélection d'un modèle	182
3.3.1	Sélection d'un modèle linéaire par rapport aux paramètres	183
3.3.2	Sélection d'un réseau de neurones	186
3.3.3	Exemple récapitulatif sur des données industrielles	189
3.4	Sélection de modèles dynamiques	196
3.4.1	Outils pour la sélection de modèles dynamiques	198
3.4.2	Exemples	200
3.5	Conclusion	209
4	Commande de processus	213
4.1	Introduction	213
4.1.1	Généralités	213

4.1.2	Systèmes de commande non adaptatifs/adaptatifs	214
4.1.3	Algorithmes d'apprentissage	216
4.1.4	Problèmes de commande abordés dans ce chapitre	216
4.2	Asservissement de poursuite	217
4.2.1	Le modèle du processus	219
4.2.2	Position du problème	220
4.2.3	Le correcteur par modèle de référence	221
4.2.4	Commande par simple bouclage	226
4.2.5	Commande avec modèle interne	235
4.3	Régulation	239
4.3.1	Régulation par retour d'état statique	240
4.3.2	Position du problème	240
4.3.3	Apprentissage du régulateur	242
4.3.4	Exemple-exercice	243
4.4	Application au pilotage d'un 4×4 autonome	247
4.4.1	Introduction au pilotage de robots mobiles	247
4.4.2	Pilotage latéral	251
4.4.3	Pilotage longitudinal	256
4.4.4	Performance globale du système de pilotage	257
4.5	Conclusion	258
5	Classification	261
5.1	Introduction	261
5.2	Classifieur théorique de Bayes	266
5.2.1	La relation de Bayes	266
5.2.2	Le classifieur de Bayes	267
5.2.3	Estimation des densités de probabilités conditionnelles	269
5.3	Probabilités <i>a posteriori</i> et régression	273
5.4	Classifieurs neuronaux pour deux classes	277
5.4.1	Classifieurs probabilistes	277
5.4.2	Classifieurs séparateurs définis par un hyperplan	284
5.4.3	Classifieurs séparateurs définis par une hypersurface non linéaire	296
5.5	Classifieurs neuronaux pour plus de deux classes	297
5.5.1	Classifieurs probabilistes	297
5.5.2	Classifieurs séparateurs	307
5.6	Estimation de la performance	309
5.6.1	Classifieur probabiliste	309
5.6.2	Classifieur séparateur	310
5.7	Exemple récapitulatif	312

5.7.1	Classification à l'aide de classifieurs de paires de classes	312
5.7.2	Classification à l'aide d'un seul classifieur	313
5.7.3	Conclusion	316
5.8	Conclusion	317
Annexe 1 Notions de probabilités et de statistique		319
A1.1	Événement, probabilité	319
A1.2	Variable aléatoire	319
A1.3	Fonction de répartition d'une variable aléatoire	320
A1.4	Densité de probabilité	320
A1.5	Densité de probabilité conditionnelle	321
A1.6	Moments d'une variable aléatoire	322
A1.6.1	Espérance mathématique d'une variable aléatoire	322
A1.6.2	Variance d'une variable aléatoire	323
A1.6.3	Matrice de covariance de vecteurs aléatoires	324
A1.7	Échantillon aléatoire	325
A1.8	Estimation d'un paramètre inconnu d'une distribution	325
A1.8.1	Estimation ponctuelle d'un paramètre	325
A1.8.2	Estimation par intervalle	328
A1.8.3	Estimateur du maximum de vraisemblance	329
A1.9	Définition d'un test d'hypothèse	332
A1.10	Densités de probabilité utiles en Statistique	333
A1.10.1	Densité de probabilité uniforme	333
A1.10.2	Densité de probabilité gaussienne	334
A1.10.3	Densité de probabilité de Pearson	335
A1.10.4	Densité de probabilité de Student et intervalles de confiance . .	337
A1.10.5	Densité de probabilité de Fisher-Snedecor et tests d'hypothèses	338
Annexe 2 Algorithmes pour l'estimation d'une régression		347
A2.1	Ingrédients pour établir les algorithmes	347
A2.1.1	Notations	347
A2.1.2	Vecteur gradient du coût par rapport aux paramètres	348
A2.1.3	Matrice hessienne du coût par rapport aux paramètres	350
A2.1.4	Calcul des éléments des matrices jacobiniennes pour un RNF . .	351
A2.1.5	Factorisation de Cholesky	353
A2.1.6	Factorisation LU (par matrices triangulaires basse et haute) . .	354
A2.1.7	Factorisation QR (matrice orthonormale et matrice triangulaire supérieure)	355

A2.1.8	Factorisation SVD (avec les valeurs singulières)	356
A2.1.9	Matrice pseudo-inverse	358
A2.2	Algorithmes itératifs	360
A2.2.1	Algorithme du gradient	360
A2.2.2	Algorithme de Newton	361
A2.2.3	Algorithme simplifié de Newton-Raphson	363
A2.2.4	Algorithme de Levenberg-Marquardt	364
A2.2.5	Algorithmes de quasi-Newton	366
A2.2.6	Méthodes d'asservissement du pas dans une direction de descente	367
A2.2.7	Mise en œuvre de l'algorithme de quasi-Newton (ici BFGS) agrémenté d'un asservissement du pas	369
A2.3	Algorithmes récursifs	370
A2.3.1	Algorithme récursif du gradient (gradient du coût partiel) . . .	370
A2.3.2	Algorithmes récursifs du second ordre	371
Références		373
Index		381