

Sommaire

Avant-propos	XI
Guide de lecture	XII
Détail des contributions	XIII
1 Les réseaux de neurones : pourquoi et pour quoi faire ?	1
<hr/>	
Les réseaux de neurones : définitions et propriétés	2
Les réseaux de neurones	3
L'apprentissage des réseaux de neurones	9
Propriété fondamentale des réseaux de neurones non bouclés à apprentissage supervisé : l'approximation parcimonieuse	10
À quoi servent les réseaux de neurones non bouclés à apprentissage supervisé ?	
Modélisation statique et discrimination (classification)	12
À quoi servent les réseaux de neurones à apprentissage non supervisé ?	
Analyse et visualisation de données	17
À quoi servent les réseaux de neurones bouclés à apprentissage supervisé ?	
Modélisation dynamique « boîte noire » et « semi-physique » ; commande de processus	17
À quoi servent les réseaux de neurones bouclés sans apprentissage ?	
L'optimisation combinatoire	19
Quand et comment mettre en œuvre des réseaux de neurones à apprentissage supervisé ?	19
Quand utiliser les réseaux de neurones ?	19
Comment mettre en œuvre ces réseaux de neurones ?	20
Conclusion	26
Réseaux de neurones à apprentissage supervisé et discrimination (classification)	26
Qu'est-ce qu'un problème de classification ?	26
Quand est-il opportun d'utiliser un classifieur statistique tel qu'un réseau de neurones ?	27
Classification probabiliste et formule de Bayes	29
Règle de décision de Bayes	32
Classification et régression	34
Quelques exemples d'applications des réseaux de neurones à divers domaines des sciences de l'ingénieur	39
Introduction	39
Une application en reconnaissance de formes : la lecture automatique de codes postaux	40
Une application en contrôle non destructif : la détection de défauts dans des rails par courants de Foucault	44

Une application en prévision : l'estimation de la probabilité de succès aux élections législatives	44
Une application en fouille de données : le filtrage de documents	45
Une application en bio-ingénierie : relations structure-activité (QSAR) pour la prédiction de propriétés chimiques de molécules.....	49
Une application en formulation : la prédiction de la température de liquidus de verres	50
Une application en modélisation de procédé industriel : la modélisation du soudage par points ..	51
Une application en robotique : la modélisation de l'actionneur hydraulique d'un bras de robot...	53
Une application de la modélisation semi-physique à un procédé manufacturier	54
Deux applications en contrôle de l'environnement : pollution par l'ozone et hydrologie urbaine	55
Une application en robotique mobile : le pilotage automatique d'un véhicule autonome	58
Conclusion	59
Compléments théoriques et algorithmiques	59
Quelques types de neurones usuels	59
L'algorithme de Ho et Kashyap.....	61
Bibliographie	62

2 Modélisation à l'aide de réseaux de neurones : principes et méthodologie de conception de modèles

Qu'est-ce qu'un modèle ?	67
De la boîte noire au modèle de connaissance	67
Modèles statiques et modèles dynamiques	68
Comment traiter des variables incertaines ?	
Le contexte statistique de la modélisation	68
Notions élémentaires de statistiques	69
Qu'est-ce qu'une variable aléatoire ?	69
Espérance mathématique d'une variable aléatoire	70
Estimateur non biaisé d'une variable aléatoire.....	71
Variance d'une variable aléatoire	71
Intervalles de confiance	72
Tests d'hypothèse	73
Modélisation statique « boîte noire » : généralités	73
Formalisation du problème : la régression	73
Introduction à la méthodologie de conception	74
Sélection des entrées d'un modèle statique boîte noire	75
Réduction de l'espace de représentation des variables du modèle	75
Élimination des variables non pertinentes pour la grandeur à modéliser	76
Conclusion sur la sélection des entrées	81

Estimation des paramètres (apprentissage) d'un modèle statique	81
Apprentissage des modèles linéaires par rapport à leurs paramètres	83
Apprentissage non adaptatif de modèles statiques non linéaires par rapport à leurs paramètres (réseaux de neurones non bouclés).....	86
Apprentissage adaptatif de modèles non linéaires par rapport à leurs paramètres.....	95
Apprentissage avec régularisation	96
Conclusion sur l'apprentissage de modèles statiques.....	102
Sélection de modèle	102
Preliminaire : élimination de modèles surajustés par calcul du rang de la matrice jacobienne.....	104
Approche globale de la sélection de modèles : validation croisée et « leave-one-out »	105
Moindres carrés locaux : effet du retrait d'un exemple sur le modèle et « leave-one-out virtuel »	107
Méthodologie de sélection de modèle par combinaison de l'approche globale et de l'approche locale.....	111
Modélisation dynamique « boîte noire »	117
Représentations d'état et représentations entrée-sortie	117
Les hypothèses concernant le bruit et leurs conséquences sur la structure, l'apprentissage et l'utilisation du modèle	119
Apprentissage non adaptatif des modèles dynamiques sous forme canonique	126
Que faire en pratique ? Un exemple réel de modélisation « boîte noire »	129
Mise sous forme canonique des modèles dynamiques	132
Modélisation dynamique « boîte grise »	135
Principe de la modélisation semi-physique	135
Conclusion : quels outils ?	143
Compléments théoriques et algorithmiques	144
Complément sur les intervalles de confiance : démarche et exemple	144
Exemple de test d'hypothèse	145
Complément : distributions de Pearson, de Student et de Fisher	145
Compléments sur la sélection des entrées : test de Fisher ; calcul de la fonction de distribution du rang du descripteur sonde	146
Complément algorithmique : méthodes d'optimisation de Levenberg-Marquardt et de BFGS	148
Complément algorithmique : méthodes de recherche unidimensionnelle pour le paramètre d'apprentissage	150
Complément théorique : distance de Kullback-Leibler entre deux distributions gaussiennes.....	151
Complément algorithmique : calcul des leviers.....	152
Bibliographie	153

3 Compléments de méthodologie pour la modélisation : réduction de dimension et ré-échantillonnage	157
Pré-traitements	158
Pré-traitements des entrées	158
Pré-traitement des sorties pour la classification supervisée	158
Pré-traitement des sorties pour la régression	159
Réduction du nombre de composantes	160
Analyse en composantes principales	160
Principe de l'ACP	160
Analyse en composantes curvilignes	164
Formalisation de l'analyse en composantes curvilignes	165
Algorithme d'analyse en composantes curvilignes	166
Mise en œuvre de l'analyse en composantes curvilignes	167
Qualité de la projection	168
Difficultés présentées par l'analyse en composantes curvilignes	168
Application en spectrométrie	169
Le bootstrap et les réseaux de neurones	170
Principe du bootstrap	171
Algorithme du bootstrap pour calculer un écart-type	171
L'erreur de généralisation estimée par bootstrap	172
La méthode NeMo	173
Test de la méthode NeMo	175
Conclusions	177
Bibliographie	177

4 Identification « neuronale » de systèmes dynamiques commandés et réseaux bouclés (récurrents)

Formalisation et exemples de systèmes dynamiques commandés à temps discret	180
Formalisation d'un système dynamique commandé par l'équation d'état	180
Exemple d'un système dynamique à espace d'état discret	181
Exemple d'un oscillateur linéaire	181
Exemple du pendule inversé	182
Exemple d'un oscillateur non linéaire : l'oscillateur de Van der Pol	183
Introduction d'un bruit d'état dans un système dynamique à espace d'état discret : notion de chaîne de Markov	183

Introduction d'un bruit d'état dans un système dynamique à états continus :	
modèle linéaire gaussien.....	185
Modèles auto-régressifs.....	185
Limites des modélisations des incertitudes sur le modèle par un bruit d'état.....	187
Identification de systèmes dynamiques commandés par régression.....	187
Identification d'un système dynamique commandé par régression linéaire.....	187
Identification d'un système dynamique non linéaire par réseaux de neurones non bouclés.....	191
Identification adaptative (en ligne) et méthode de l'erreur de prédiction réursive.....	193
Estimateur récursif de la moyenne empirique.....	193
Estimateur récursif de la régression linéaire.....	195
Identification récursive d'un modèle AR.....	196
Méthode générale de l'erreur de prédiction réursive.....	197
Application à l'identification neuronale d'un système dynamique commandé.....	198
Filtrage par innovation dans un modèle d'état.....	199
Introduction d'une équation de mesure et problème du filtrage.....	199
Filtrage de Kalman.....	201
Extension du filtre de Kalman.....	205
Apprentissage adaptatif d'un réseau de neurones par la méthode du filtrage de Kalman.....	206
Réseaux neuronaux récurrents ou bouclés.....	208
Simulateur « neuronal » d'un système dynamique commandé en boucle ouverte.....	208
Simulateur neuronal d'un système dynamique commandé en boucle fermée.....	209
Quelques réseaux bouclés particuliers.....	209
Mise sous forme canonique des réseaux bouclés.....	212
Apprentissage des réseaux de neurones récurrents ou bouclés.....	212
Apprentissage dirigé (teacher forcing).....	213
Déploiement de la forme canonique et rétropropagation à travers le temps.....	214
Apprentissage en temps réel des réseaux bouclés.....	216
Application des réseaux neuronaux bouclés à l'identification de systèmes dynamiques commandés mesurés.....	217
Compléments algorithmiques et théoriques.....	218
Calcul du gain de Kalman et propagation de la covariance.....	218
Importance de la distribution des retards dans un réseau récurrent.....	220
Bibliographie.....	221
5 Apprentissage d'une commande en boucle fermée.....	223
<hr/>	
Généralités sur la commande en boucle fermée des systèmes non linéaires.....	223
Principe de la commande en boucle fermée.....	223

Commandabilité.....	224
Stabilité des systèmes dynamiques commandés.....	225
Synthèse d'une commande « neuronale » par inversion du modèle du processus	227
Inversion directe	227
Utilisation d'un modèle de référence.....	230
Commande avec modèle interne.....	231
Utilisation des réseaux récurrents.....	232
Programmation dynamique et commande optimale	233
Exemple de problème déterministe à espace d'états discret.....	233
Exemple de problème de décision markovienne	235
Définition d'un problème de décision markovienne	236
Programmation dynamique à horizon fini	239
Programmation dynamique à horizon infini et à coût actualisé	240
Problèmes de décision markovienne partiellement observés	242
Apprentissage par renforcement et programmation neuro-dynamique	242
Évaluation d'une politique par la méthode de Monte-Carlo et apprentissage par renforcement ...	242
Présentation de l'algorithme TD d'évaluation d'une politique	243
Apprentissage par renforcement : méthode du Q-learning.....	246
Apprentissage par renforcement et approximation neuronale.....	248
Bibliographie.....	251
6 La discrimination	253
<hr/>	
Apprentissage de la discrimination.....	254
Erreurs d'apprentissage et de généralisation	255
Surfaces discriminantes	256
Séparation linéaire : le perceptron.....	256
Géométrie de la classification.....	258
Algorithmes d'apprentissage pour le perceptron.....	260
Exemple d'application : la classification de signaux de sonar	268
Algorithmes d'apprentissage adaptatifs (« en ligne »)	269
Interprétation de l'apprentissage en termes de forces	270
Au-delà de la séparation linéaire.....	271
Perceptron sphérique	271
Heuristiques constructives.....	272
Algorithme constructif NetLS	273
Machines à vecteurs supports (Support Vector Machines).....	274
Problèmes à plusieurs classes	276

Questions théoriques	277
Formulation probabiliste de l'apprentissage.....	278
Théorie statistique de Vapnik.....	281
Prédiction du comportement typique.....	284
Compléments théoriques	285
Bornes au nombre d'itérations de l'algorithme du perceptron.....	285
Nombre de dichotomies linéairement séparables.....	286
Bibliographie	287

7 Cartes auto-organisatrices et classification automatique..... 289

Notations et définitions	291
Méthode des k-moyennes	292
Présentation de l'algorithme.....	292
Version stochastique des k-moyennes.....	294
Interprétation probabiliste des k-moyennes.....	297
Carte topologique auto-organisatrice	300
Les cartes auto-organisatrices.....	300
L'algorithme d'optimisation non adaptative des cartes topologiques.....	303
L'algorithme de Kohonen.....	309
Discussion.....	310
Architecture neuronale et carte topologique.....	311
Architecture et carte topologique évolutive.....	312
Interprétation de l'ordre topologique.....	313
Carte topologique probabiliste.....	315
Classification et carte topologique	318
Étiquetage de la carte par données expertisées.....	318
Recherche d'une partition adaptée aux classes recherchées.....	319
Étiquetage et classification.....	321
Applications	322
Une application en télédétection satellitaire.....	323
Classification et PRSOM.....	331
Carte topologique et recherche documentaire.....	334
Bibliographie	336

8 Réseaux de neurones sans apprentissage pour l'optimisation.... 339

Modélisation d'un problème d'optimisation	339
--	-----

Exemples	340
Problème du voyageur de commerce.....	341
Complexité d'un problème d'optimisation.....	341
Exemple	342
Approches classiques des problèmes combinatoires	342
Introduction aux métaheuristiques	343
Les techniques dérivées de la physique statistique	344
Analyse canonique.....	344
Analyse microcanonique	348
Exemple : problème du voyageur de commerce	350
Les approches neuronales	354
Les neurones formels utilisés pour l'optimisation.....	354
Architectures de réseaux de neurones pour l'optimisation.....	355
Fonctions d'énergie pour l'optimisation combinatoire	355
Les réseaux de neurones récurrents de Hopfield	356
Améliorations des réseaux de Hopfield.....	362
La recherche tabou	370
Les algorithmes génétiques	371
Vers des approches hybrides	371
Conclusion	372
Le choix d'une technique	372
Bibliographie	372
 Bibliographie commentée	 377
 Index	