

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Dynamische Systeme und Zeitreihen	5
1.1 Deterministisch-chaotische Systeme	7
1.1.1 Einbettung	8
1.2 Stochastische Systeme	9
2 Probabilistische Modelle	11
2.1 Dichteschätzung als grundlegendes Hilfsmittel	13
2.2 Parametrische und nichtparametrische Verfahren	15
2.3 Lokale versus globale Modellierung	15
2.4 Modulare Modelle	17
2.4.1 Netzwerke aus radialen und elliptischen Basisfunktionen	18
2.4.1.1 Netze aus Gaußfunktionen	19
2.4.1.2 Netze aus normalisierten Gaußfunktionen	19
2.4.2 Mischung von Dichten	20
2.4.2.1 Mischung von Normalverteilungen	22
2.4.2.2 Bezug zu Netzwerken aus radialen Basisfunktionen	22
2.4.3 Mischung von Experten	23
2.4.3.1 Bezug zu Netzwerken aus radialen Basisfunktionen	25
2.5 Hierarchische Modelle	25
2.6 Prädiktion basierend auf Dichtemodellen	26
3 Adaptation von Modellen	29
3.1 Maximum-Likelihood Schätzung	30
3.1.1 Bezug zur Methode der kleinsten Quadrate	31
3.1.2 Bezug zur Bayes'schen Inferenz	32
3.1.3 Bezug zu informationstheoretischen Maßen	34
3.2 Der EM-Algorithmus	36
3.2.1 Mischung von parametrischen Dichten	39
3.2.1.1 Mischung von Normalverteilungen	42
3.2.2 Unsichere oder fehlende Beobachtungen	43
3.3 Regularisierung	46

3.3.1	Nutzung des EM-Algorithmus	49
3.3.2	Regularisierung für Mischdichtemodelle	50
3.3.2.1	Glattheitsanforderung	50
3.3.2.2	Künstlich gestörte Trainingsdaten	52
3.3.2.3	Informationstheoretische Maße	54
3.4	Initialisierung	58
3.4.1	Verteilung von α_i	59
3.4.2	Verteilung von $\ \mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}\ ^2$	62
3.4.3	Verteilung von σ^2	64
3.5	Vorverarbeitung	66
3.5.1	Lineare Transformationen	68
3.6	Variierung der Struktur von Modellen	71
3.6.1	Ausdünnen von Strukturen	72
3.6.2	Wachsende Strukturen	73
3.6.3	Bayes'sche Verfahren	74
3.6.4	Auswahl relevanter Eingabevariablen in Dichtemodellen	76
3.7	Kombination von Modellen	78
4	Evolutionäre Algorithmen	83
4.1	Evolution und Optimierung	85
4.1.1	Allgemeine Optimierungsaufgaben	86
4.1.2	Formaler evolutionärer Algorithmus	87
4.2	Evolution und Lernen	90
4.3	Strukturoptimierung mit evolutionären Algorithmen	91
4.3.1	Wahl der Codierung im Zusammenspiel mit den evolutionären Operatoren	92
4.3.2	Rekombination und das Permutationsproblem	94
4.4	Analyse und Bewertung von Codierung und Operatoren	95
4.4.1	Das Prinzip der starken Kausalität	96
4.4.1.1	Abstände im Genotypraum	97
4.4.1.2	Maß für starke Kausalität	99
4.4.2	Bewertung und Adaptation von Operatoren	103
5	Evolutionärer Modellentwurf	107
5.1	Codierung von lokalen Modellen	108
5.2	Abstände im Genotyp- und Phänotypraum	109
5.3	Verwendete Operatoren	110
5.3.1	Rekombination	110
5.3.2	Mutation	112
5.3.3	Lernen	117
5.3.4	Alle Operatoren im Überblick	117
5.4	Analyse der verwendeten Operatoren	119
5.4.1	Initiale Verteilung der Modelle	120

5.4.2	Starke Kausalität der Operatoren	121
5.4.3	Bewertung und Adaptation der Operatoren	125
6	Experimente	127
6.1	Dichteschätzung	127
6.1.1	Problem geringer Datenmengen	128
6.1.2	Nichtstationäre Verteilungen	131
6.2	Chaotische Systeme mit Störung	133
6.2.1	Lorenz System mit additiver Störung	134
6.2.2	Mackey-Glass System mit dynamischer Störung	137
6.3	Prädiktion eines bimodalen Brown'schen Prozesses	142
6.4	Reale Daten	145
6.4.1	Physiologische Daten	145
7	Zusammenfassung und Ausblick	153
7.1	Zusammenfassung	153
7.2	Ausblick	155
A	Ableitungen der Zielfunktion und des Regularisierungsterms	157
A.1	Ableitung des quadratischen Fehlers	157
A.1.1	Netzwerke aus radialen und elliptischen Basisfunktionen	157
A.1.1.1	Gaußfunktionen	157
A.1.1.2	Normalisierte Gaußfunktionen	158
A.1.2	Mischdichtemodelle mit Normalverteilungen	159
A.2	Ableitung der Funktion $Q(\boldsymbol{\theta} \boldsymbol{\theta}^{(s)})$	160
A.3	Ableitung der Regularisierungsterme	160
A.3.1	Glattheitsmaß	160
A.3.2	Rényi-Entropie	163
A.3.3	Entropie-Maß $H_p(\mathcal{Z})$	164
B	Prädiktionsfehler für das dynamisch gestörte Mackey-Glass System	165
C	Grundlagen	171
C.1	Zufallsvariablen und Verteilungen	171
C.1.1	Funktionen von Zufallsvariablen	171
C.1.2	Monte-Carlo Approximationen	173
C.1.2.1	Approximation von Entropie-Integralen	173
C.1.2.2	Markov-Ketten Monte-Carlo Verfahren	174
C.2	Hilfsmittel der multivariaten Datenanalyse	175
C.2.1	Spektrales Zerlegungstheorem	175
C.2.1.1	Hauptachsentransformation	175
C.2.1.2	Lineare Filterung zur Rauschunterdrückung	176
C.2.1.3	Whitening von Signalen	176

C.2.1.4	Mahalanobis-Distanz	177
C.2.1.5	Verallgemeinerte Inverse	178
C.2.2	Lineare Regression	178
C.2.3	Lokal-lineare Regression	180
C.3	Hilfsmittel der Signalverarbeitung	180
C.3.1	Signal-Rauschabstand	180
C.3.2	Vektorquantisierung	180
C.4	Informationstheoretische Maße	182
C.4.1	Shannon-Entropie	182
C.4.2	Kullback-Leibler Distanz	183
C.4.3	Rényi-Entropie	183
C.4.4	Transinformation	184
C.4.5	Die Jensen-Ungleichung	185
C.5	Fehlermaße	185
C.5.1	Mittlerer quadratischer Fehler	185
C.5.2	Mittlerer absoluter Fehler	186
C.5.3	Korrelationskoeffizient	187
C.5.4	Theilscher Ungleichheitskoeffizient	187
Notationen		189
Literaturverzeichnis		193
Index		221