

Inhaltsverzeichnis

8	Grundlagen der Klassifikation	1
8.1	Mustererkennung	1
8.1.1	Begriffe	1
8.1.2	Äquivalenzrelation	2
8.1.3	Merkmalvektor, Merkmalvektorfolge und Merkmalraum Merkmalvektoren	4
	Merkmalraum und Abstandsfunktion	5
	Verallgemeinerter EUKLIDischer Abstand	5
	MINKOWSKI-Norm	6
	Beispiel	8
8.1.4	Stetigkeit, Kompaktheit und Separierbarkeit	11
8.2	Analysator	12
8.2.1	Signalschnittstelle	13
8.2.2	Signalanalyse	17
8.2.3	Vorverarbeitung	17
	Logarithmierung	17
	Normierung	20
	Glättung	20
8.2.4	Dynamische Merkmale	21
	Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmerkmale	22
	Kontextmerkmale	23
8.2.5	Merkmalgenerierung als Zufallsprozess	25
	Merkmale als Zufallsgrößen	25
	Schätzung der Momente aus endlichen Stichproben ...	27
	Normalverteilte Merkmalvektoren	28
8.2.6	Merkmaltransformation und -selektion	29
	Lineare Vektortransformationen	31
	Diskrete KARHUNEN-LOÈVE-Transformation (DKLT) ..	32
	Dimensionsreduktion	35
	Hauptkomponentenanalyse (HKA) und Hauptachsentransformation (HAT)	35

	Weitere Verfahren	36
8.2.7	Zusammenfassung	37
8.3	Klassifikator	39
8.3.1	Aussagen und Klassen	40
8.3.2	Entscheidungsproblem	41
	Entscheidung durch Verschärfung	42
	Rückweisung	44
	Detektion	46
	Mehrstufige und mehrkriterielle Entscheidungen	46
8.3.3	Modelle	48
8.3.4	Linearklassifikator	49
	Abstandsklassifikator	49
	Verallgemeinerung der Unterscheidungsfunktion	50
	Beispiel	52
	Zweiklassenproblem	54
8.3.5	BAYES-Klassifikator	56
	Unterscheidungs- und Entscheidungsfunktionen	56
	Optimalität	58
	BAYES-Klassifikator mit Normalverteilungsdichten	62
	Beispiel	64
	Anwendung weiterer Verteilungsfunktionen	66
8.3.6	Statistischer Abstandsklassifikator	67
8.4	Lernen	68
8.4.1	Überblick	68
8.4.2	Serieller Perzeptron-Lernalgorithmus	69
	Prinzip	69
	Beweis der Konvergenz	72
	Beispiel	74
8.4.3	Gradientenverfahren	76
	Prinzip	76
	Adaline-Lernalgorithmus	78
	Beispiel	79
8.4.4	Konvexe Optimierung	81
	Prinzip	81
	Diskussion	84
8.4.5	Regressionsverfahren	84
	Einführendes Beispiel	84
	Regressionsansatz	87
	Analytisches Lösungsverfahren	88
	Iteratives Lösungsverfahren	89
	Regel von ROBBINS und MONRO	90
8.4.6	Maximum-Likelihood-Schätzung	91
	Likelihood-Funktion	91
	Beispiel	92
8.4.7	Maximum-A-Posteriori-Schätzung	93

Beispiel	94
8.4.8 EM-Algorithmus	95
Interpretation der Funktion $Q(q', q)$	97
Interpretation der zufälligen Hilfsgröße z	98
Algorithmus	99
Beispiel	99
Diskussion	106
8.4.9 Clusterung und Vektorquantisierung	107
Prinzip und Anwendungsgebiete	107
Einteilungskriterien	107
Iterative Top-down-Clusterung	108
Iterative Bottom-up-Clusterung	111
Vektorquantisierung	111
8.5 Test	113
8.5.1 Anforderungen an Tests	114
8.5.2 Beurteilung eines Klassifikators	115
Verwechslungsmatrix	115
Kosten	116
8.5.3 Beurteilung eines Detektors	117
Receiver Operating Characteristic (ROC)	118
Verallgemeinerung	120
8.5.4 Beurteilung eines Klassenfolgenklassifikators	121
Vergleich von Folgen	121
Richtigkeit und Genauigkeit	122
8.5.5 Kostenoptimale BAYES-Klassifikatoren	123
Risiko	123
Minimierung des Risikos. BOK-AK	125
Symmetrische Kostenfunktion. BOK-SK	125
8.5.6 Statistische Auswertung von Tests	127
Verteilung von Erkennquoten	127
Konfidenzintervall von Erkennquoten	132
Vergleich von Erkennquoten	136
Literatur	143
9 Vektorklassifikatoren	149
9.1 Supportvektormaschine	149
9.1.1 Duale Form des Linearklassifikators	149
9.1.2 Supportvektoren	150
9.1.3 Geometrischer und funktionaler Rand, Maximierung ..	152
9.1.4 Hard-Margin-Supportvektormaschine	158
9.1.5 Gestörte Daten, Soft-Margin-Supportvektormaschine ..	160
9.1.6 Separierbarkeit und Kernmethode	162
9.2 GMM-Klassifikator	164
9.2.1 BAYES-Klassifikator mit GAUSSschen Mischverteilungen	166
9.2.2 EM-Parameterschätzung	168

E-Schritt	169
M-Schritt	169
Algorithmus	171
9.2.3 Ermittlung der Einzelverteilungen	171
9.2.4 Zusammenfassung	173
9.3 Neuronale Netzwerke	175
9.3.1 Grundbegriffe	175
Einführendes Beispiel	176
Neuronentypen	178
Netzwerktopologien	181
9.3.2 Einsatzmöglichkeiten	183
9.3.3 Mehrschichtiges Perzeptron	184
Aufbau und Anwendung	184
Lernen mit Fehler-Rückverfolgung	185
Beispiel	187
9.3.4 Deep Belief Networks	189
9.4 Unscharfe Klassifikatoren	191
9.4.1 Zugehörigkeit	191
9.4.2 Das Konzept unscharfer Mengen	192
Scharfe und unscharfe Mengen	192
Zugehörigkeitsfunktionen	193
Rechenregeln für unscharfe Mengen	194
9.4.3 Modellierung von Zugehörigkeitsfunktionen	196
Modellierung durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen ..	196
Modellierung durch Potentialfunktionen	196
9.4.4 Verknüpfung von Zugehörigkeitsfunktionen	199
Aufgaben	199
Disjunktive und konjunktive Verknüpfungen	199
Aggregation von Zugehörigkeitsfunktionen	200
Literatur	202
10 Folgenklassifikatoren	205
10.1 Einführung	205
10.2 Folgenmodelle	206
10.2.1 Endliche sequenzielle Automaten	207
10.2.2 Generatoren, Akzeptoren und Transduktoren	212
Algebraische Automatendefinition	214
Wege durch Automaten	216
10.2.3 Weitere Spezialfälle endlicher Automaten	217
Topologische Spezialfälle	217
Stochastische Automaten	218
MEALY-, MOORE- und MEDVEDEV-Automaten	219
10.2.4 Weitere Folgenmodelle	219
10.3 Abstandsklassifikation für Folgen	220
10.3.1 Darstellung von Folgen durch Automaten	220

10.3.2 LEVENSSTEIN-Distanz	222
10.3.3 Abstand zwischen Folgen	226
10.3.4 Zeitvariante dynamische Programmierung	228
BELLMANSches Optimalitätsprinzip	228
Algorithmus	230
Bestimmung des besten Weges	231
Diskussion	233
10.3.5 Dynamische Zeitanpassung	233
10.4 Statistische Klassifikation für Folgen	237
10.4.1 Stochastischer Generator	238
10.4.2 Hidden-MARKOV-Modell	239
10.4.3 Formen von Hidden-MARKOV-Modellen	242
10.4.4 Vorwärts-Rückwärts- und VITERBI-Algorithmus	244
10.5 HMM-Klassifikatoren mit Normalverteilungsdichten	247
10.5.1 Automatentopologien	249
10.5.2 EM-Parameterschätzung	251
10.5.3 Ermittlung des Automatengraphen	254
10.5.4 Zusammenhang zwischen HMM und GMM	255
10.5.5 Zusammenfassung	256
Literatur	258
11 Klassenfolgenklassifikatoren	261
11.1 Einführung	261
11.2 Klassenfolgenmodelle	263
11.2.1 Formale Sprachen und Grammatiken	263
Alphabet	263
Wort	263
KLEENEsche Hülle	264
Sprache	264
Grammatik	265
11.2.2 Reguläres Folgenmodell	265
11.2.3 Stochastisches Folgenmodell	267
11.3 Automatenalgebra	268
11.3.1 Topologische Operationen	269
Vereinigung	269
Topologischer Durchschnitt	270
Topologische Differenz	270
11.3.2 Rationale Operationen	271
Summe	271
Produkt	272
KLEENEscher Abschluss	273
Rationale Differenz	274
11.3.3 Weitere Operationen	274
Umkehrung	274
Inversion	275

Projektion	275
11.3.4 Topologieoptimierung	276
Zuschneiden	277
Epsilon-Elimination	277
Determinierung	279
Minimierung	285
Verschiebung	286
11.3.5 Kombination	286
Kartesisches Produkt	287
Rationaler Durchschnitt	287
Komposition	289
11.3.6 Zusammenfassung	292
11.4 Reguläre Klassifikation für Klassenfolgen	293
11.4.1 Erkennungsnetzwerke	293
Konstruktion	293
Optimierung	295
Approximation	299
A*-Suche	300
11.4.2 Dekodierung	305
Zeitvariante Dekodierung	305
Zeitvariante A*-Suche	306
Näherungsweise Dekodierung	311
Zeitinvariante Dekodierung	311
11.4.3 Lernen von endlichen Automaten	313
11.5 Stochastische Klassifikation für Klassenfolgen	317
11.5.1 BAYES-Klassifikator für Klassenfolgen	317
11.5.2 Maximum-Likelihood-Klassifikator für Klassenfolgen	317
11.5.3 Reguläre Formulierung der A-priori-Wahrscheinlichkeit	318
Literatur	323
12 Intelligente Signalverarbeitungssysteme	325
12.1 Systemstruktur	325
12.2 Anwendungsbeispiele	327
12.2.1 Sprachsignale	328
12.2.2 Musiksignale	330
12.2.3 Technische und Biosignale	331
12.3 Hierarchische kognitive dynamische Systeme	332
12.3.1 Bedeutungsverarbeitung und Verhaltenssteuerung	336
12.3.2 Bidirektionale Verarbeitung	337
Literatur	338
Index	341