

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Einführung	1
1 Einleitung	3
1.1 Neue Herausforderungen an technische Systeme	3
1.2 Komplexe, komplizierte und chaotische Systeme	4
1.3 Grenzen traditioneller Berechnungsmethoden	4
1.4 Naturinspirierte Berechnungsmethoden.....	5
1.4.1 Bionik	5
1.4.2 Künstliche Intelligenz	8
1.4.3 Natural Computing	10
1.4.4 Soft Computing.....	11
1.4.5 Computational Intelligence.....	11
1.5 Abschließende Bemerkungen	15
2 Problemstellungen und Lösungsansätze	17
2.1 Einführende Beispiele.....	17
2.2 Mustererkennung und Klassifikation	21
2.2.1 Einführung in die Problemstellung	21
2.2.2 Entwurfs- und Auslegungskonzepte.....	24
2.2.3 Kriterien zur Ergebnisbewertung	33
2.2.4 Praktische Beispiele	34
2.2.5 Weiterführende Literatur.....	36
2.2.6 Zusammenfassende Bewertung	36
2.3 Modellbildung.....	38
2.3.1 Einführung in die Problemstellung	38
2.3.2 Entwurfs- und Auslegungskonzepte.....	41
2.3.3 Kriterien zur Ergebnisbewertung	47
2.3.4 Praktische Beispiele	54
2.3.5 Weiterführende Literatur.....	57
2.3.6 Zusammenfassende Bewertung	58
2.4 Regelung	60
2.4.1 Einführung in die Problemstellung	60
2.4.2 Entwurfs- und Auslegungskonzepte.....	63
2.4.3 Kriterien zur Ergebnisbewertung	75

2.4.4	Praktische Beispiele.....	78
2.4.5	Weiterführende Literatur	82
2.4.6	Zusammenfassende Bewertung	82
2.5	Optimierung und Suche.....	84
2.5.1	Einführung in die Problemstellung.....	84
2.5.2	Entwurfs- und Auslegungskonzepte	90
2.5.3	Kriterien zur Ergebnisbewertung.....	93
2.5.4	Praktische Beispiele.....	95
2.5.5	Weiterführende Literatur	98
2.5.6	Zusammenfassende Bewertung	99
2.6	Beispiele und Benchmarks	101
Teil II: Fuzzy-Systeme		103
3	Einleitung	105
4	Allgemeine Prinzipien	107
4.1	Fuzzy-Mengen, Grundoperationen und linguistische Variablen.....	107
4.2	Mamdani-Fuzzy-Systeme.....	111
4.3	Relationale Fuzzy-Systeme	116
4.4	Takagi-Sugeno-Systeme	119
4.5	Multivariate Zugehörigkeitsfunktionen und allg. Fuzzy-Partitionierungen.....	121
4.6	Gegenüberstellung von Mamdani- und Takagi-Sugeno-Fuzzy-Systemen	124
4.7	Kurze Historie	124
5	Clusterverfahren	127
5.1	Grundlegende Prinzipien	127
5.1.1	Abstand und Metrik	127
5.1.2	Einfaches Beispiel: Nächste-Nachbarn-Klassifikation	130
5.2	Umsetzung.....	131
5.2.1	Ablauf eines Clusterverfahrens.....	133
5.2.2	c-Means-Algorithmus.....	133
5.2.3	Fuzzy-c-Means-Algorithmus.....	134
5.2.4	Gustafson-Kessel-Algorithmus.....	140
5.2.5	Bestimmung der Clusteranzahl bei Fuzzy-Clusterverfahren	144
5.2.6	Wahl des Unschärfeparameters.....	146
5.2.7	Verfahrenserweiterungen	147
6	Datengetriebene Modellbildung	149
6.1	Einführung.....	149
6.2	Lineare Systemidentifikation.....	149

6.2.1	Identifikation statischer LiP-Modelle mittels LS-Verfahren	150
6.2.2	Identifikation linearer dynamischer Eingrößenmodelle	154
6.2.3	Ablauf einer Identifikation	160
6.3	Fuzzy-Modelle	162
6.3.1	Statische Fuzzy-Modelle	162
6.3.2	Gewinnung zeitkontinuierlicher dynamischer Fuzzy-Modelle	171
6.3.3	Identifikation zeitdiskreter dynamischer Takagi-Sugeno-Modelle	172
7	Regelung	177
7.1	Einführung	177
7.2	Mamdani-Fuzzy-Regler	178
7.2.1	Fuzzy-P-Regler	178
7.2.2	Fuzzy-PI/PD-Regler	181
7.2.3	Anmerkungen	183
7.3	Fuzzy-basierte Selbsteinstellung für PI-Regler	184
7.4	Relationaler Fuzzy-Reglerentwurf	185
7.4.1	Reglerentwurf durch Modellinversion	185
7.4.2	Fuzzy-Vorsteuerung	187
7.5	Fuzzy-Gain-Scheduling und Takagi-Sugeno-Regler	189
7.5.1	Lineare Zustandsmodelle	190
7.5.2	Affine Zustandsmodelle	192
7.6	Realisierungsaspekte	195
8	Anwendungsbeispiele	197
8.1	Clustering mittels Fuzzy-c-Means	197
8.1.1	Fehlererkennung und -isolierung bei Brennstoffzellen	197
8.1.2	Klinische instrumentelle Ganganalyse	198
8.2	Fuzzy-Klassifikation (nicht linear separierbares Zwei-Klassenproblem)	199
8.3	Fuzzy-Modellbildung	200
8.3.1	Kennfläche eines Axialkompressors	200
8.3.2	Dynamisches Modell einer Klärschlammverbrennungsanlage	202
8.4	Mamdani-Fuzzy-Regelung eines Drei-Tanksystems	203
9	Übungsaufgaben	209
9.1	Clustering einer Objektmenge	209
9.2	Mamdani-Fuzzy-Regler	210
9.3	Kompensation einer nichtlinearen Ventilkennlinie	211
9.4	Entwurf einer Vorsteuerung für einen Verbrennungsprozess	213
9.5	Fuzzy-Kennlinienregler	216
9.6	Funktionsapproximation mittels Takagi-Sugeno-Fuzzy-System	219

Teil III: Künstliche Neuronale Netze	221
10 Einleitung	223
11 Allgemeine Prinzipien	225
11.1 Netzstrukturen und -topologien	225
11.1.1 Schichten	225
11.1.2 Vorwärtsgerichtete und rückgekoppelte Netze	226
11.2 Lernkonzepte	227
11.3 Universelle Approximation und Netzstruktur	228
11.4 Effizienz und Lösungsqualität von Suchverfahren	229
11.5 Kurze Historie	230
12 Multi-Layer-Perceptron-(MLP)-Netze	233
12.1 Aufbau und Funktionsprinzip eines Neurons	233
12.2 Netzaufbau und Übertragungsverhalten	234
12.3 Lernverfahren	238
12.3.1 Delta-Regel	238
12.3.2 Backpropagation-Algorithmus	240
12.4 Probleme beim Einsatz des Backpropagation-Verfahrens	247
12.5 Erweiterungen des Backpropagation-Verfahrens	248
12.6 Mustererkennung mit MLP-Netzen	250
12.6.1 Trennflächenform und Ebenenanzahl	250
12.6.2 Training des Klassifikators	253
12.7 Modellbildung mit MLP-Netzen	259
12.8 Modellprädiktive Regelung mit MLP-Netzen	260
13 Radiale-Basisfunktionen-Netze	261
13.1 Netzaufbau	261
13.2 Basisfunktionen	262
13.3 Übertragungsverhalten	263
13.4 Lernverfahren	265
13.4.1 Festlegung von Basen und Formparametern	265
13.4.2 Ermittlung der Gewichte	267
13.4.3 Parameteroptimierung	267
13.5 Methodische Erweiterungen	271

14	Selbstorganisierende (Kohonen-)Karten	273
14.1	Netzaufbau und Funktionsprinzip	273
14.2	Lernverfahren	275
15	Anwendungsbeispiele	281
15.1	Kennfläche eines Axialkompressors (MLP)	281
15.2	Dynamische Modellierung eines servo-hydraulischen Antriebs (MLP)	284
15.3	Dynamische Modellierung eines servo-pneumatischen Antriebs (MLP).....	285
15.4	Fließkurvenmodellierung beim Kaltwalzen (MLP)	286
15.5	Virtueller Kraftsensor für elastischen Roboterarm (MLP).....	287
15.6	Qualitätskenngrößenvorhersage bei Polymerisation (MLP)	288
15.7	Zustandsbewertung von Energieübertragungsnetzen (SOM).....	290
15.8	Routenplanung/TSP (SOM)	291
16	Übungsaufgaben	295
16.1	XOR-Funktionsapproximation mittels MLP-Netz.....	295
16.2	Klassifikation mittels MLP-Netzen (1).....	296
16.3	Klassifikation mittels MLP-Netzen (2).....	297
16.4	Klassifikation mittels RBF-Netz.....	298
16.5	Funktionsapproximation mittels RBF-Netz	299
16.6	Training einer Kohonenkarte	299
16.7	Clusterung und Klassifikation mittels Kohonenkarte	300
Teil IV: Evolutionäre Algorithmen		303
17	Allgemeine Prinzipien	305
17.1	Einführung	305
17.2	Grundidee und -schema Evolutionärer Algorithmen	306
17.3	Kurze Historie.....	309
18	Genetische Algorithmen	311
18.1	Einführung	311
18.2	Problemkodierung.....	312
18.3	Algorithmusablauf	315

18.4	Selektion der Elternteile	316
18.4.1	Fitnessproportionale Selektion	316
18.4.2	Rangbasierte Selektion	319
18.4.3	Tournierbasierte Selektion	320
18.5	Rekombination durch Cross-over	321
18.5.1	Binär kodierte kontinuierliche Probleme	321
18.5.2	Reell kodierte kontinuierliche Probleme	322
18.5.3	Ganzzahlig oder symbolisch kodierte Probleme.....	323
18.5.4	Permutationsprobleme	323
18.6	Mutation	324
18.6.1	Binär kodierte kontinuierliche Probleme	324
18.6.2	Ganzzahlig, symbolisch oder reell kodierte Probleme.....	325
18.6.3	Permutationsprobleme	325
18.7	Selektion der Überlebenden/Populationsmodelle	326
18.8	Abbruchkriterium	327
18.9	Erweiterungen/Weiterführendes	327
18.10	Illustrierendes Beispiel	327
19	Evolutionsstrategien	331
19.1	Einführung.....	331
19.2	Problemkodierung	333
19.3	Startpopulation	333
19.4	Algorithmusablauf.....	334
19.5	Selektion der Elternteile	334
19.6	Rekombination	334
19.7	Mutation	334
19.7.1	Rechenbergs 1/5-(Erfolgs-)Regel	335
19.7.2	Einheitliche Mutationsschrittweitenadaption.....	336
19.7.3	Separate unkorrelierte Mutationsschrittweitenadaption.....	336
19.7.4	Separate korrelierte Mutationsschrittweitenadaption.....	337
19.8	Selektion der Überlebenden/Populationsmodelle	337
19.9	Abbruchkriterium	338
19.10	Erweiterungen/Weiterführendes	338
19.11	Illustrierendes Beispiel	339

20	Genetisches Programmieren	343
21	Anwendungsbeispiele	347
21.1	Formoptimierung eines Rohrkrümmers (ES).....	347
21.2	Pfadplanung für mobile Roboter (GA)	348
21.3	Modellgenerierung für biotechnologische Prozesse (GP).....	349
21.4	Minimumsuche bei Testfunktionen mittels Matlab TM „Optimization Tool“ (GA) .	350
22	Übungsaufgaben	359
22.1	Routenplanung für mobilen Roboter mittels Genetischem Algorithmus	359
22.2	Evolutionsstrategie zur Lösung eines kontinuierlichen Optimierungsproblems....	360
22.3	Formoptimierung mittels Genetischem Algorithmus	360
22.4	Optimierung eines Fuzzy-Systems mittels Genetischem Algorithmus	362
22.5	Optimales Rucksackpacken mittels Genetischem Algorithmus.....	363
Teil V: Weiterführende Methoden		365
23	Hybride CI-Systeme	367
23.1	Einführung	367
23.2	Neuro-Fuzzy-Systeme	369
23.2.1	Methodik.....	369
23.2.2	Anwendungsbeispiel Schadensdiagnose von Abwasserrohren	375
23.3	Evolutionäre Fuzzy-Systeme	377
23.3.1	Methodik.....	377
23.3.2	Anwendungsbeispiel Fuzzy-Reglung inverses Rotationspendel.....	380
23.4	Evolutionäre Neuronale Netze.....	382
23.4.1	Methodik.....	382
23.4.2	Anwendungsbeispiel MLP-Netzoptimierung.....	386
23.5	Evolutionäre Neuro-Fuzzy-Systeme	388
23.6	Weiterführende Literatur.....	388
24	Schwarmintelligenz und Künstliche Immunsysteme	391
24.1	Einführung	391
24.2	Schwarmintelligenz	391
24.2.1	Partikelschwarmoptimierung	391
24.2.2	Ameisenalgorithmen.....	394
24.2.3	Weiterführende Literatur	396

24.3	Künstliche Immunsysteme.....	396
24.3.1	Biologisches Vorbild.....	396
24.3.2	Technische Umsetzung.....	399
24.3.3	Anwendungsbeispiel Unterdrückung von Störeinwirkungen	401
24.3.4	Weiterführende Literatur	402
Teil VI: Anhang		405
25	Anhang	407
25.1	Verzeichnis häufiger Formelzeichen und Abkürzungen	407
25.2	Vektor- und Matrizenrechnung	411
25.3	Normalverteilung.....	413
25.4	Graphen	414
25.5	Herleitung des FCM-Algorithmus.....	414
25.6	Berechnungsprogramme im Bereich der CI	416
Literatur		419
Verzeichnis der Anwendungsbeispiele		441
Index		443