

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Einführung	1
1 Einführung	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	25
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	42
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	170
6.3.3	Identifikation zeitdiskreter dynamischer Takagi-Sugeno-Modelle	171
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	Clusterung 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	Clusterung 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
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	Training/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	Modellbasierte prädiktive 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	269

14	Selbstorganisierende Karten	271
14.1	Netzaufbau und Funktionsprinzip.....	271
14.2	Lernverfahren	273
15	Anwendungsbeispiele	279
15.1	Kennfläche eines Axialkompressors (MLP)	279
15.2	Dynamische Modellierung eines servo-hydraulischen Antriebs (MLP)	281
15.3	Dynamische Modellierung eines servo-pneumatischen Antriebs (MLP).....	282
15.4	Fließkurvenmodellierung beim Kaltwalzen (MLP)	283
15.5	Virtueller Kraftsensor für elastischen Roboterarm (MLP).....	284
15.6	Qualitätskenngrößenvorhersage bei Polymerisationsprozess mittels MLP-Netz...	285
15.7	Zustandsbewertung von Energieübertragungsnetzen (SOM).....	287
15.8	Routenplanung/TSP (SOM)	288
16	Übungsaufgaben	291
16.1	Ex-Or-Funktionsapproximation mittels MLP-Netz	291
16.2	Klassifikation mittels MLP-Netzen (1).....	292
16.3	Klassifikation mittels MLP-Netzen (2).....	293
16.4	Funktionsapproximation mittels RBF-Netz.....	294
16.5	Training einer Kohonenkarte	295
Teil IV: Evolutionäre Algorithmen		297
17	Allgemeine Prinzipien	299
17.1	Einführung	299
17.2	Grundidee und -schema Evolutionärer Algorithmen	300
17.3	Kurze Historie.....	303
18	Genetische Algorithmen	305
18.1	Einführung.....	305
18.2	Problemkodierung.....	306
18.3	Algorithmusablauf	309
18.4	Selektion der Elternteile.....	310
18.4.1	Fitnessproportionale Selektion.....	310
18.4.2	Rangbasierte Selektion	313
18.4.3	Tournierbasierte Selektion	314

18.5	Rekombination durch Cross-over	314
18.5.1	Binär kodierte kontinuierliche Probleme	315
18.5.2	Reell kodierte kontinuierliche Probleme.....	315
18.5.3	Ganzzahlig oder symbolisch kodierte Probleme.....	316
18.5.4	Permutationsprobleme.....	317
18.6	Mutation	318
18.6.1	Binär kodierte kontinuierliche Probleme	318
18.6.2	Ganzzahlig, symbolisch oder reell kodierte Probleme.....	319
18.6.3	Permutationsprobleme.....	319
18.7	Selektion der Überlebenden/Populationsmodelle	320
18.8	Abbruchkriterium	321
18.9	Erweiterungen/Weiterführendes	321
18.10	Illustrierendes Beispiel	321
19	Evolutionsstrategien	325
19.1	Einführung.....	325
19.2	Problemkodierung	327
19.3	Startpopulation.....	327
19.4	Algorithmusablauf.....	328
19.5	Selektion der Elternteile	328
19.6	Rekombination	328
19.7	Mutation	328
19.7.1	Rechenbergs 1/5-(Erfolgs-)Regel	329
19.7.2	Einheitliche Mutationsschrittweitenadaption.....	330
19.7.3	Separate unkorrelierte Mutationsschrittweitenadaption.....	330
19.7.4	Separate korrelierte Mutationsschrittweitenadaption.....	331
19.8	Selektion der Überlebenden/Populationsmodelle	331
19.9	Abbruchkriterium	332
19.10	Erweiterungen/Weiterführendes	332
19.11	Illustrierendes Beispiel	333
20	Genetisches Programmieren	337
21	Anwendungsbeispiele	341
21.1	Formoptimierung eines Rohrkrümmers (ES).....	341
21.2	Pfadplanung für mobile Roboter (GA)	342
21.3	Modellgenerierung für biotechnologische Prozesse (GP)	343

22	Übungsaufgaben	345
22.1	Routenplanung für mobilen Roboter mittels Genetischem Algorithmus	345
22.2	Evolutionsstrategie zur Lösung eines kontinuierlichen Optimierungsproblems.....	346
22.3	Formoptimierung mittels Genetischem Algorithmus.....	346
22.4	Optimierung eines Fuzzy-Systems mittels Genetischem Algorithmus	348
Teil V: Weiterführende Methoden		349
23	Hybride CI-Systeme	351
23.1	Einführung	351
23.2	Neuro-Fuzzy-Systeme	353
23.2.1	Methodik.....	353
23.2.2	Anwendungsbeispiel Schadensdiagnose von Abwasserrohren	359
23.3	Evolutionäre Fuzzy-Systeme	361
23.3.1	Methodik.....	361
23.3.2	Anwendungsbeispiel Fuzzy-Reglung inverses Rotationspendel.....	364
23.4	Evolutionäre Neuronale Netze.....	366
23.4.1	Methodik.....	366
23.4.2	Anwendungsbeispiel MLP-Netzoptimierung.....	370
23.5	Evolutionäre Neuro-Fuzzy-Systeme	372
23.6	Weiterführende Literatur.....	372
24	Schwarmintelligenz & Künstliche Immunsysteme	375
24.1	Einführung	375
24.2	Schwarmintelligenz	375
24.2.1	Partikelschwarmoptimierung	375
24.2.2	Ameisenalgorithmen.....	378
24.2.3	Weiterführende Literatur.....	380
24.3	Künstliche Immunsysteme	380
24.3.1	Biologisches Vorbild	380
24.3.2	Technische Umsetzung	383
24.3.3	Anwendungsbeispiel Unterdrückung von Störeinwirkungen.....	385
24.3.4	Weiterführende Literatur.....	386
Anhang		389
25	Anhang	391
25.1	Verzeichnis häufiger Formelzeichen und Abkürzungen.....	391
25.2	Vektoren und Matrizen.....	395
25.3	Normalverteilung	397

25.4	Graphen.....	398
25.5	Herleitung des FCM-Algorithmus	398
25.6	Berechnungsprogramme im Bereich der CI.....	400
Literatur		403
Verzeichnis der Anwendungsbeispiele		423
Index		425