

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Erkenntnis	1
1.2	Zielsetzung und Überblick	2
2	Neuronale Netze	5
2.1	Das Neuron als Entscheidungsmodell	6
2.2	Entscheidungsnetzwerke	8
2.3	Minimalität neuronaler Entscheidungsmodelle	10
2.4	Komplexität neuronaler Abbildungen	10
2.5	Der Backpropagation-Lernalgorithmus	11
2.5.1	Differenzierbare Aktivierungsfunktionen	12
2.5.2	Das Lernproblem	13
2.5.3	Berechnungen in einem Backpropagation-Netz	14
2.5.4	Training durch Gradientenabstieg	16
2.5.5	Herleitung der Backpropagation-Regel	17
2.5.6	Wahl der Zielfunktion	20
2.5.7	Probleme des Lernverfahrens Backpropagation	22
2.5.8	Varianten des Backpropagation-Verfahrens	24
2.5.9	Resilient Propagation (Rprop)	25
2.6	Overfitting und Generalisierung	27
2.6.1	Optimierung der Verbindungsstruktur	29

3	Der Stuttgarter Neuronale Netze Simulator (SNNS)	31
3.1	Der Simulatorkern von SNNS	31
3.2	Die Grafikoberfläche von SNNS	32
3.3	Von SNNS unterstützte konnektionistische Modelle	32
3.4	Erweiterungen	33
3.4.1	Das Lernverfahren BPM_ln_cosh	33
3.5	Batch-Version	35
3.5.1	Batchman	35
3.6	Der entwickelte SNNS-Netzgenerator	36
3.6.1	Shortcut-Verbindungen	37
3.6.2	Verwendung einer Vorschicht	39
3.6.3	Jordan- und Elman-Netze	40
3.7	Parallelisierung für SIMD-Rechner	42
4	Parallele Backpropagation	43
4.1	Parallele Systeme	43
4.2	Parallelisierungsstrategien	44
4.2.1	Partitionierung des experimentellen Raumes	44
4.2.2	Partitionierung der Trainingsmenge	44
4.2.3	Partitionierung des MLP-Netzes	46
4.2.4	Kommunikationsaufwand	49
4.3	Parallele Implementationen	50
4.3.1	Parix	50
4.3.2	Realisation unter Parix	53
4.3.3	PVM	55
4.3.4	Realisation unter PVM	56
4.4	Ergebnisse	57
4.4.1	Experimentelle Speedups	57
4.4.2	Vergleich und Bewertung der Parallelisierungen	59

5	Zeitreihenprognose	65
5.1	Aufbau und Arten von Prognosemodellen	66
5.1.1	Qualitative und quantitative Prognosemodelle	66
5.1.2	Univariate und multivariate Prognosemodelle	67
5.1.3	Kurz- und langfristige Prognosemodelle	67
5.1.4	Weitere Klassifikationen	67
5.2	Ablaufschema für Prognosen	67
5.3	Beurteilungsmaße für Prognosen	69
5.3.1	Ex-ante-Beurteilung	70
5.3.2	Ex-post-Beurteilung	70
5.4	Lineare Filter und integrierte autoregressive Prozesse	73
5.4.1	Lineare Filter	73
5.4.2	Integrierte autoregressive moving average-Prozesse	75
5.4.3	Das ARIMA-Verfahren	76
6	Datenvorverarbeitung	79
6.1	Systematisierung der Datenvorverarbeitung	79
6.1.1	Methoden mit Fehlerbezug	80
6.1.2	Methoden mit Sachbezug	80
6.1.3	Methoden mit Modellbezug	80
6.1.4	Anwendung der Methoden	81
6.2	Vorbereitung von Daten für große Probleme	82
6.2.1	Die Vorverarbeitung einzelner Zeitreihen	82
6.2.2	Andere Datenvorverarbeitungsmethoden	84
6.2.3	Wahl einer Lag-Struktur	85
7	Prognose von Zeitreihen mit Neuronalen Netzen	87
7.1	Allgemeine Vorgehensweise bei der Prognose mit Neuronalen Netzen	90

8 Das Prognosesystem	93
8.1 Datenstrukturen	96
8.1.1 Kopf einer Zeitreihe	97
8.1.2 Rumpf einer Zeitreihe	101
8.2 Datenspeicherung	101
8.2.1 Der Dateibaum	101
8.2.2 Die Datei STEUERUNG_GESAMT	102
8.2.3 Die Datei STEUERUNG_PROJEKT	104
8.2.4 Die Datei INDEX	104
8.2.5 Die Datei PROGNOSE_INFO	104
8.2.6 Lokale und globale Daten	105
8.3 Die grafische Oberfläche	106
8.4 Zeitrechnung	107
8.4.1 Die kanonischen Zeiteinheiten	108
8.4.2 Interne Zeitpunkt-Notation: die logische Zeitrechnung	109
8.4.3 Einsatzgebiete der Zeitrechnung in der Oberfläche	112
8.5 Skalierungen	113
8.6 Ein Beispiel	120
8.6.1 Prognosezeitreihen	125
8.7 Der Prognoseprozeß	127
8.7.1 Das Prognosesystem schematisch	127
8.7.2 Das Prognosesystem auf Dateiebene	129
8.7.3 Allgemeiner Ablauf einer Prognose	131
8.7.4 Die Standardprognose unter Einsatz von SNNS	133
8.7.5 Batchman-Skript zur Prognose	136
8.7.6 Das Log-File zur Prognose	136
8.8 Dateien im Detail	137

8.8.1	Das BP-File	137
8.9	Kreuzvalidierung	146
8.9.1	Parameter im Steuerungsfile	147
8.9.2	Die Kreuzvalidierung im Prognosesystem	148
8.9.3	Ausgabedateien	149
8.10	Sensitivitätsanalyse	150
8.10.1	Praktischer Einsatz	150
8.10.2	Parameter im BP-Steuerungsfile	151
8.10.3	Ablauf einer Sensitivitätsanalyse	153
8.10.4	Darstellung und Bewertung	155
8.11	Pruning-Verfahren	155
8.11.1	Parameter im BP-Steuerungsfile	157
8.11.2	Ablauf des Prunings im Prognosesystem	158
8.11.3	Ausgabedateien	159
8.12	Auswertungen von Prognosen	159
8.12.1	Leistungsmerkmale von <code>zr_error.pl</code>	161
8.13	Anwendung	164
9	Prognose von Volkswirtschaftsdaten	165
9.1	Bruttosozialprodukt	166
9.1.1	Lineare Regression im Vergleich mit Neuronalen Netzen	167
9.1.2	ARIMA im Vergleich mit Neuronalen Netzen	171
9.2	Arbeitnehmerzahl	175
9.2.1	Lineare Regression im Vergleich mit Neuronalen Netzen	176
9.2.2	ARIMA im Vergleich mit Neuronalen Netzen	180
9.3	Diskussion der Ergebnisse	183

10 Analyse und Prognose des CO₂-Gehalts der Luft	185
10.1 Die Daten	185
10.2 Analyse	187
10.2.1 Regression	187
10.2.2 Neuronale Netze	189
10.2.3 Ergebnisse	192
10.2.4 Fazit	194
10.3 Prognose	194
10.3.1 Ergebnisse	195
10.4 Diskussion der Ergebnisse	196
11 Abverkaufsprognose im Supermarkt	197
11.1 Die Daten	197
11.1.1 Das Datenformat	198
11.1.2 Darstellung in der grafischen Oberfläche	200
11.2 Die betrachteten Zeitreihen	201
11.3 Die Prognoseaufgabe	202
11.4 Bestandsempfehlung im Supermarkt	203
11.4.1 Die Tegut-Prognose	203
11.4.2 Die naive Prognose	204
11.5 Abverkaufsprognose mit Neuronalen Netzen	205
11.5.1 Vorverarbeitung der Input-Daten	206
11.5.2 Parameterwahl	206
11.5.3 Clustering der Artikel	207
11.6 Prognoseläufe	207
11.6.1 Zeiträume	208
11.6.2 Parametereinstellungen der Prognoseläufe	209
11.7 Ergebnisse	212
11.8 Zusammenfassung	216

12 Zusammenfassung und Ausblick	219
A Eine Übersicht über GAUSS	223
B (Partielle) Autokorrelationsfunktion	227
C Signifikanztests der multiplen Regression	229
C.1 <i>t</i> -Test	229
C.2 <i>F</i> -Test	230
D Die Wirtschaftszeitreihen	231
D.1 Einflußzeitreihen zum Bruttosozialprodukt	231
D.2 Einflußzeitreihen zur Arbeitnehmerzahl	235
E Exogene Umweltzeitreihen	239
F Güte verschiedener Neuronaler Netzen bei der Abverkaufsprognose	241
Literaturverzeichnis	247