

Dipl.-Inform. Sabine Kröner, Neu Wulmstorf

# **Neuronale Netze zur lageinvarianten Mustererkennung**

Reihe **10**: Informatik/  
Kommunikationstechnik      Nr. **516**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlagen der lageinvarianten Mustererkennung . . . . .	5
2.2	Modell eines neuronalen Netzes . . . . .	10
2.2.1	Mathematisches Neuronenmodell . . . . .	10
2.2.1.1	Definition eines Berechnungsknotens . . . . .	10
2.2.1.2	Geometrische Interpretation der Arbeitsweise eines Berechnungsknotens . . . . .	13
2.2.2	Vorwärtsgerichtete Netzarchitekturen . . . . .	15
2.2.2.1	Definition einer Netzarchitektur und eines Netztyps . . . . .	15
2.2.2.2	Definition eines Netzes . . . . .	17
2.2.2.3	Geometrische Interpretation der Arbeitsweise eines Netzes . . . . .	19
2.2.2.4	Lernen in vorwärtsgerichteten Netzen . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Überblick über bekannte Netzarchitekturen</b>	<b>21</b>
3.1	Hierarchische Merkmalsextraktionsnetze . . . . .	21
3.1.1	Das Neocognitron . . . . .	21
3.1.2	Hierarchisches Netz nach LeCun . . . . .	23
3.2	Neuronale Netze mit internem Matching . . . . .	24
3.3	Neuronale Netze mit interner Normalisierung . . . . .	26
3.4	Neuronale Netze höherer Ordnung . . . . .	27

3.4.1	Einführung . . . . .	27
3.4.2	Neuronale Netze höherer Ordnung in der lageinvarianten Mustererkennung . . . . .	29
3.5	Vergleich von HONN mit der invarianten Integration . . . . .	34
3.5.1	Überblick über das Verfahren der invarianten Integration . . . . .	34
3.5.2	Vergleich von lageinvarianten HONN mit der invarianten Integration . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Die Klasse <math>\mathcal{CT}</math></b> . . . . .	<b>40</b>
4.1	Grundlagen der Klasse $\mathcal{CT}$ . . . . .	40
4.2	Einschränkung von Mehrdeutigkeiten der Invarianten . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Strukturierte invariante neuronale Netze</b> . . . . .	<b>47</b>
5.1	Die Netzarchitektur . . . . .	48
5.1.1	Allgemeine Definition . . . . .	48
5.1.2	Zusammenhang zwischen SINN und den Transformationen der Klasse $\mathcal{CT}$ . . . . .	51
5.2	Invarianz der Netzarchitektur . . . . .	53
5.2.1	Analyse der Netzarchitektur . . . . .	53
5.2.2	Beweis der Invarianz . . . . .	55
5.2.3	Vollständigkeit der Invarianten . . . . .	59
5.3	Verschiedene Erweiterungen der Netzarchitektur . . . . .	61
5.3.1	Erweiterung auf Invarianz gegenüber anderen Transformationsgruppen . . . . .	61
5.3.1.1	Erweiterung auf 2D Translationsinvarianz . . . . .	61
5.3.1.2	Erweiterung auf Rotationsinvarianz . . . . .	64
5.3.1.3	Erweiterung auf 2D Translations- und 90°-Rotationsinvarianz . . . . .	66
5.3.1.4	Erweiterung auf 2D Translations- und Rotationsinvarianz . . . . .	70
5.3.2	Erweiterte Definition der Klasse $\mathcal{CT}$ . . . . .	73
5.4	Zusammenhang von SINN mit neuronalen Netzen höherer Ordnung . . . . .	76

---

<b>6</b>	<b>Lernen in SINN</b>	<b>78</b>
6.1	Realisierung der Knotenfunktion . . . . .	78
6.1.1	Knotenfunktionen mit einem Gewicht . . . . .	79
6.1.2	Knotenfunktionen mit mehreren Gewichten . . . . .	80
6.2	Darstellung der Abbildung einer Netzschicht . . . . .	82
6.3	Lernalgorithmen . . . . .	90
6.3.1	Bekannte Lernalgorithmen für strukturierte Netze . . . . .	90
6.3.2	Der schichtweise SINN-Lernalgorithmus . . . . .	93
<b>7</b>	<b>Kapazität und Generalisierungsfähigkeit</b>	<b>103</b>
7.1	Kapazität strukturierter Netzarchitekturen . . . . .	104
7.1.1	Definition einer Netzklasse . . . . .	104
7.1.2	Definition von Wachstumsfunktion und Kapazität . . . . .	104
7.1.3	Kapazität einfacher vorwärtsgerichteter Netzarchitekturen . . . . .	108
7.1.4	Kapazität strukturierter Netzarchitekturen . . . . .	109
7.1.4.1	Kapazität einschichtiger strukturierter Netzarchitekturen . . . . .	111
7.1.4.2	Kapazität mehrschichtiger strukturierter Netzarchitekturen . . . . .	115
7.1.4.3	Kapazität von SINN-Architekturen . . . . .	116
7.2	Generalisierungsfähigkeit strukturierter Netzarchitekturen . . . . .	120
<b>8</b>	<b>Experimente</b>	<b>124</b>
8.1	Untersuchungen zur Störempfindlichkeit von SINN . . . . .	124
8.1.1	Robustheit der Abbildung . . . . .	125
8.1.2	Robustheit der Separierbarkeit . . . . .	129
8.2	Untersuchungen zur Rotationsinvarianz . . . . .	132
8.3	Experimente mit Texturdaten . . . . .	138
8.4	Experimente zu weiteren Eigenschaften von SINN . . . . .	144

<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>147</b>
9.1 Zusammenfassung . . . . .	147
9.2 Ausblick . . . . .	150
<b>A Die Delta-Regel</b>	<b>151</b>
<b>B Der Backpropagation-Algorithmus</b>	<b>152</b>
<b>C Anmerkungen zur Kapazität nach Definition 7.3</b>	<b>154</b>
<b>D Symbolverzeichnis</b>	<b>156</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>159</b>