

# Inhaltsverzeichnis

<b>Mathematische Notation</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Anspruch der Arbeit . . . . .	3
1.2. Anwendungsszenario . . . . .	4
1.2.1. Fazit . . . . .	7
1.3. Gliederung der Arbeit . . . . .	8
<b>2. Motivation</b>	<b>13</b>
2.1. Biologische Motivation . . . . .	13
2.1.1. Simulander . . . . .	14
2.1.2. Wahrnehmung von Bewegungen . . . . .	15
2.1.3. Experimente mit Neugeborenen . . . . .	17
2.1.4. Strukturen im menschlichen Gehirn . . . . .	18
2.2. Verwandte Arbeiten . . . . .	20
2.2.1. Anwendungsfelder . . . . .	21
2.2.2. Methodik . . . . .	23
2.2.2.1. Probabilistische Methoden . . . . .	25
2.2.2.2. Neuronale Methoden . . . . .	26
2.2.2.3. Analytische Methoden . . . . .	27
2.2.2.4. Sonstige Verfahren . . . . .	28
2.3. Fazit . . . . .	29
<b>3. Vorverarbeitung von Bewegungsabläufen</b>	<b>31</b>
3.1. Datenakquisition . . . . .	31
3.1.1. Point-Light Display . . . . .	32

3.1.2.	Lasertracker . . . . .	35
3.2.	Repräsentation von Bewegungstrajektorien . . . . .	36
3.2.1.	Referenzsystem . . . . .	40
3.2.1.1.	Kontextuelle Repräsentation . . . . .	41
3.2.1.2.	Zielbezogene Repräsentation . . . . .	42
3.2.1.3.	Trajektorienbezugssystem . . . . .	42
3.2.2.	Abtastung . . . . .	43
3.2.2.1.	Räumlich äquidistante Abtastung . . . . .	44
3.2.2.2.	Zeitlich äquidistante Abtastung . . . . .	44
3.2.3.	Koordinatentransformationen . . . . .	45
3.2.4.	Auswahl der geeigneten Repräsentation . . . . .	45
3.2.5.	Experimentelle Untersuchungen . . . . .	50
3.2.6.	Fazit . . . . .	55
3.3.	Bewertung der Ähnlichkeit von Trajektorien . . . . .	57
3.3.1.	Fazit . . . . .	60
<b>4.</b>	<b>Echo State Netzwerke</b>	<b>63</b>
4.1.	Vergleich von Prädiktionsalgorithmen . . . . .	64
4.2.	Aufbau von ESN . . . . .	65
4.2.1.	Funktionsweise . . . . .	65
4.2.2.	Training und Anwendung . . . . .	68
4.2.3.	Erweiterungen . . . . .	71
4.3.	Experimentelle Evaluierung . . . . .	72
4.3.1.	Referenzalgorithmen . . . . .	73
4.3.2.	Gütekriterien . . . . .	73
4.3.3.	Ergebnisse . . . . .	76
4.4.	Anforderungen an den Realwelteinsatz . . . . .	79
4.4.1.	Verkürzung der Beobachtungsphase . . . . .	80
4.4.2.	Kompensation von Unterabtastung . . . . .	82
4.4.3.	Prädiktion des Interaktionspartners . . . . .	84
4.5.	Fazit . . . . .	86
<b>5.</b>	<b>Local Modelling</b>	<b>89</b>
5.1.	Bestimmung der Einbettung . . . . .	89
5.1.1.	Wahl der Einbettungsverzögerung . . . . .	92
5.1.2.	Wahl der Einbettungsdimension . . . . .	92
5.2.	Local Model Verfahren . . . . .	93
5.2.1.	Local Average Model . . . . .	96

5.2.2. Local Linear Model . . . . .	97
5.3. Experimentelle Evaluierung . . . . .	97
5.4. Anforderungen an den Realwelteinsatz . . . . .	100
5.4.1. Verkürzung der Beobachtungsphase . . . . .	100
5.4.2. Kompensation von Unterabtastung . . . . .	102
5.4.3. Prädiktion des Interaktionspartners . . . . .	104
5.5. Erweiterung der Local Models . . . . .	105
5.5.1. Erweiterung der Wissensbasis . . . . .	106
5.5.2. Erweiterung als Klassifikator . . . . .	110
5.5.2.1. Learning Vector Quantisierung . . . . .	110
5.5.2.2. Nearest-Neighbor-Klassifikation . . . . .	111
5.5.2.3. Vergleichende Untersuchungen . . . . .	112
5.6. Fazit . . . . .	114
<b>6. Spatio-temporale NMF . . . . .</b>	<b>117</b>
6.1. Nicht-negative Matrixzerlegung . . . . .	121
6.1.1. Spärlichkeitskriterium . . . . .	123
6.1.2. Transformationsinvarianz . . . . .	125
6.2. Dekomposition von Bewegungsabläufen . . . . .	126
6.2.1. Trainingsphase . . . . .	129
6.2.2. Anwendungsphase . . . . .	133
6.3. Experimentelle Evaluierung . . . . .	136
6.3.1. Verschieben der Aktivitäten . . . . .	137
6.3.2. Prädiktionsgenauigkeit . . . . .	139
6.3.3. Erkennungsaufgabe . . . . .	142
6.4. Fazit . . . . .	144
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>147</b>
7.1. Szenariospezifische Anwendbarkeit . . . . .	151
7.1.1. Prädiktionsaufgaben . . . . .	151
7.1.2. Erkennungsaufgaben . . . . .	153
7.2. Erweiterungsmöglichkeiten . . . . .	154
<b>A. Visuelle Bewegungssegmentierung . . . . .</b>	<b>157</b>
A.1. Markov Random Fields . . . . .	159
A.2. Zusammensetzung der Energiefunktion . . . . .	161
A.2.1. Berechnung des optischen Flusses . . . . .	162
A.2.2. Integration von Farbinformationen . . . . .	163
A.2.3. Integration von Tiefeninformationen . . . . .	164

A.3. Verwerfen und Zusammenführen von Segmenten . . . .	165
A.4. Initialisierung . . . . .	165
<b>B. Verfahren zur Repräsentation von Zeit</b>	<b>167</b>
B.1. Dimensionalität . . . . .	167
B.2. Abtastung . . . . .	170
B.2.1. Ereignis-basierte Abtastung . . . . .	170
B.2.2. Informationsabhängige Abtastung . . . . .	172
B.3. Funktionsapproximation . . . . .	173
B.4. Experimentelle Evaluierung . . . . .	175
<b>C. Ähnlichkeit von Trajektorien</b>	<b>179</b>
C.1. Experimentaldaten . . . . .	179
C.2. $\mathcal{L}_p$ -Normen . . . . .	181
C.3. Korrelationskoeffizient . . . . .	184
C.4. Sequence Search . . . . .	185
C.4.1. Adaptive Piecewise Constant Approximation . .	186
C.4.2. Chebyshev-Approximation . . . . .	189
C.5. Time Warping Algorithmen . . . . .	190
C.6. Scan Matching Algorithmen . . . . .	196
C.7. Zusammenfassung . . . . .	199
<b>D. Vergleich von Prädiktionsalgorithmen</b>	<b>203</b>
D.1. Cluster Weighted Modeling . . . . .	206
D.2. Autoregressive Models . . . . .	207
D.2.1. Wiener Filter . . . . .	208
D.2.2. Durbin-Levinson . . . . .	209
D.2.3. Yule-Walker . . . . .	209
D.3. Experimenteller Vergleich . . . . .	210
D.3.1. Sinus und Lorenzattraktor . . . . .	212
D.3.2. Realwelt Bewegungsdaten . . . . .	213
D.3.3. Berechnungszeit . . . . .	215
D.4. Fazit . . . . .	215
<b>E. Vergleich von Clusteralgorithmen</b>	<b>219</b>
E.1. O-Cluster . . . . .	221
E.2. Neuronale Ansätze . . . . .	222
E.2.1. Neuronales Gas . . . . .	222
E.2.2. Self Organizing Feature Map . . . . .	223

---

E.2.3. Expanding Self Organizing Feature Maps . . . .	223
E.3. K-Means . . . . .	223
E.4. SASH . . . . .	224
E.5. Experimenteller Vergleich . . . . .	225
E.6. Fazit . . . . .	228