

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Stand der Technik	3
1.2.1 Deep Learning-basierte Interferenzunterdrückung	4
1.2.2 Deep Learning-basierte Winkelschätzung	5
1.2.3 Öffentliche Datensätze für Automobilradar	7
1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	9
2 Automobilradarsignalverarbeitung	11
2.1 Chirp Sequence-Radar	11
2.1.1 Basisband-Signalmodell	12
2.1.2 Antennenarray-Signalmodell	13
2.1.3 Radar-Signalverarbeitungskette	15
2.2 Gegenseitige Interferenzen	20
2.2.1 Signalmodell für linear frequenzmodulierte Interferenzen	22
2.2.2 Auswirkungen von Interferenzen	23
2.2.3 Geeignete Maßnahmen zur Interferenzunterdrückung	25
2.3 Single Snapshot-Winkelschätzung	26
2.3.1 Erweitertes Signalmodell	26
2.3.2 Traditionelle Verfahren zur Winkelschätzung	28
2.3.3 Schätzung der Zielanzahl	28
2.3.4 Limitierungen der Winkelschätzung	30
3 Deep Learning-basierte Interferenzunterdrückung	33
3.1 Generierung von geeigneten Datensätzen	34
3.1.1 Messung von Interferenzen	34
3.1.2 Simulation von Interferenzen	36
3.1.3 Hybrides Signalmodell	38
3.1.4 Datenvorverarbeitung	38
3.1.5 Trainings-, Test- und Validierungsdatensätze	40
3.2 Performance-Metriken	41
3.3 Interferenzunterdrückung im Frequenzbereich	42
3.3.1 Konzept und Architektur des CNN-Autoencoders	42
3.3.2 Training und Validierung	43
3.4 Testergebnisse	45
3.4.1 Performance bezüglich Vergleichsmetriken	46
3.4.2 Validierung mit realen Messungen	48
3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	49

VII

4 Hochauflösende Winkelschätzung mittels Deep Learning	51
4.1 Generierung von Trainings- und Testdaten	52
4.1.1 Messaufbau und Radarsensorik	53
4.1.2 Sensorkalibrierung	54
4.1.3 Aufbereitung der Messergebnisse	56
4.1.4 Mehrziel-Signalmodelle	57
4.1.5 Datenvorverarbeitung	60
4.1.6 Szenarien zur Evaluierung und Bewertung der Performance	62
4.2 Schätzung der Zielanzahl	63
4.2.1 Performance-Metriken der Klassifikation	64
4.2.2 Architektur der MLP-basierten Klassifikation	65
4.2.3 Evaluation und Vergleich mit dem Generalized Likelihood Ratio-Test	66
4.2.4 Erweiterung der MOE und Optimierung der Designparameter	68
4.2.5 Performance des erweiterten MOE-Netzwerks	71
4.3 Regressionsbasierte Winkelschätzung	74
4.3.1 Performance-Metriken für die Regression	75
4.3.2 Konzept und Architektur des Regressions-MLP	75
4.3.3 Evaluation und Vergleich mit der Maximum Likelihood-Schätzung .	76
4.3.4 Optimierung der Netzwerkarchitektur und der Designparameter . .	79
4.3.5 Performance des optimierten Regressions-Netzwerks	79
4.4 Klassifikationsbasierte Schätzung des Winkelspektrums	85
4.4.1 Performance-Metriken der spektrumbasierten Winkelschätzung .	86
4.4.2 Konzepte und Architekturen verschiedener DL-Ansätze	87
4.4.3 Nachverarbeitung und Zieldetektion	91
4.4.4 Einfluss der Zieldetektion auf die Performance	93
4.4.5 Evaluation und Vergleich mit der Maximum Likelihood-Schätzung .	95
4.4.6 Validierung der hochauflösenden Winkelschätzung	102
4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	105
5 Diskussion der Ergebnisse	109
5.1 Vergleich mit dem Stand der Technik	109
5.2 Ausblick	111
6 Zusammenfassung	113
Literaturverzeichnis	115
Tabellen und Abbildungen	125
Abkürzungsverzeichnis	131
Symbolverzeichnis	133
Danksagung	137
Eigene Veröffentlichungen	139