

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	3
1 Einleitung	5
1.1 Gliederung der Arbeit	9
2 Frequenzmodulierte Dauerstrichradare	11
2.1 Einführung	11
2.2 Radargleichung und -querschnitt	15
2.2.1 Radargleichung	15
2.2.2 Radarquerschnitt	17
2.3 Abstandsbestimmung	25
2.3.1 Frequenzauswertung	25
2.3.2 Phasenauswertung	26
2.4 Geschwindigkeitsbestimmung	28
2.5 Limitierungen	31
2.5.1 Reichweite	32
2.5.2 Auflösung	33
2.5.3 Genauigkeit und Präzision	35
2.6 Zusammenfassung	37
3 Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit von FMCW-Radarsystemen	39
3.1 Rauschbeiträge in FMCW-Radarsystemen	39
3.1.1 Signal-Rausch-Verhältnis	40
3.1.2 Thermisches Rauschen	41
3.1.3 Quantisierungsrauschen	44
3.1.4 Phasenrauschen	46
3.1.5 Verstärkung	54
3.1.6 Mittelung	55
3.2 Cramér-Rao-Grenze	56
3.2.1 Allgemeine Definition	56
3.2.2 CRLB der Abstandsbestimmung mittels FMCW-Radar	57
3.3 Zusammenfassung	62
4 Signalverarbeitung zur genauen und präzisen Abstandsbestimmung	65
4.1 Fourier-Transformation	65

4.2	Diskrete Fourier-Transformation	67
4.2.1	Trennschärfe von Spektralkomponenten	70
4.2.2	Fensterung	73
4.2.3	Aliasing	75
4.2.4	Komplexwertige Signalverarbeitung	77
4.3	Spektraler Zoom zur genaueren Frequenz- und Phasenbestimmung	79
4.3.1	Interpolation	79
4.3.2	Zero-Padding	82
4.3.3	(Chirp-)z-Transformation	84
4.3.4	Iterative Chirp-z-Transformation	86
4.3.5	Iterative diskrete Fourier-Transformation	88
4.3.6	Vergleich der Algorithmen	90
4.4	Gegenseitige Beeinflussung mehrerer Ziele	95
4.5	Zusammenfassung	98
5	Systemaufbau	101
5.1	Hochfrequenz-Frontend	101
5.1.1	Signalerzeugung	103
5.1.2	Monolithisch integrierter Millimeterwellen-Schaltkreis	106
5.1.3	Antenne	108
5.2	Niederfrequenz-Backend	110
5.2.1	Signalaufbereitung und -vorverarbeitung	110
5.2.2	Prozessoreinheit	111
5.3	Messaufbau	112
6	Experimentelle Untersuchungen	115
6.1	Systemkomponenten	116
6.1.1	Signalerzeugung	116
6.1.2	Monolithisch integrierter Millimeterwellen-Schaltkreis	117
6.1.3	Antenne	121
6.2	Signalverarbeitung	122
6.2.1	Initiale Phasenlage der Phasenauswertung	123
6.2.2	Messunsicherheit der Signalverarbeitung	124
6.3	Validierung der Cramér-Rao-Grenze an verschiedenen Parametern	126
6.3.1	Abstand	127
6.3.2	Rampendauer	128
6.3.3	Bandbreite	129
6.3.4	Startfrequenz der Modulation	130
6.3.5	Sendeleistung	131
6.3.6	Abtastrate	131
6.3.7	Auflösung des Analog-Digital-Wandlers	132
6.3.8	Mittelung	133
6.3.9	Konstante Chirprate	134
6.4	Genauigkeit des Radarsystems	134

7 Diskussion	137
7.1 Ausblick	141
Danksagung	143
Abkürzungsverzeichnis	145
Symbolverzeichnis	147
Literaturverzeichnis	151
Publikationen	167