

Albrecht Ludloff

Handbuch Radar und Radarsignal- verarbeitung

Mit 153 Bildern und 22 Tabellen



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1-1
1.1	Radarprinzip	1-1
1.2	Zur Geschichte des Radars	1-2
1.3	Radaranwendungen und Radartypen	1-3
1.4	Aufbau eines Rundsuchradars und Störsignale	1-5
1.5	Aufgaben der Signalverarbeitung	1-7
	Literaturverzeichnis	1-10
2	Grundlagen und Radargleichung	2-1
2.1	Übersicht	2-1
2.2	R^4 -Gesetz und Rückstrahlquerschnitt	2-2
2.3	Empfängerrauschen und Systemrauschen	2-4
2.4	Empfänger-Empfindlichkeit und -Dynamik	2-11
2.5	Radaranennen: ein Überblick	2-16
2.6	Pulsradar und Wahl der Pulsfolgefrequenz	2-21
2.7	Matched Filter-Prinzip	2-31
2.8	Pulsintegration	2-33
2.9	Die endgültige Radargleichung	2-39
	Literaturverzeichnis	2-43
3	Entdeckung konstanter und fluktuierender Echos im Rauschen	3-1
3.1	Übersicht	3-1
3.2	Prinzip des automatischen Zieldetektors	3-2
3.3	CFAR-Zieldetektor	3-4
3.4	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen radartypischer Zufallssignale	3-5
3.5	Einzelpulsentdeckung	3-10
3.6	Wahl der Falschalarmwahrscheinlichkeit	3-12
3.7	Zielfluktuations	3-14
3.8	Die 4 Zielmodelle nach Swerling	3-17
3.9	Frequenz-Agilität und Frequenz-Diversity	3-18
3.10	Entdeckung nach kohärenter Integration	3-20
3.11	Entdeckung nach nichtkohärenter Integration	3-21
3.12	Entdeckung nach binärer Integration	3-34
	Literaturverzeichnis	3-40

4	Referenzradar und Verlustbilanz	4-1
4.1	Übersicht	4-1
4.2	Referenzradar	4-1
4.3	Verlustbilanz	4-5
4.4	Zielverweilzeit	4-10
4.5	Beispiel eines Radarentwurfs	4-12
4.6	Formelsammlung	4-19
	Literaturverzeichnis	4-22
5	Grundlagen der Filterung von Radarsignalen	5-1
5.1	Übersicht	5-1
5.2	Die Spektren von Radarechos	5-2
5.3	Filterung von Einzelpuls und Pulsfolge	5-10
5.4	Tiefpaßfilterung von Bandpaßsignalen	5-14
5.5	Radarkopf und Sendesignalaufbereitung	5-22
5.6	Allgemeine Struktur der kohärenten Radarsignalverarbeitung . .	5-27
5.7	Fehler und Verluste bei der I/Q- und A/D-Umsetzung	5-32
	Literaturverzeichnis	5-40
6	Matched Filter, Likelihood Ratio Filter und Prewhitening Filter	6-1
6.1	Übersicht	6-1
6.2	Matched Filter für Einzelpuls bei weißem Störsignal	6-2
6.3	Beispiele für Einzelpuls-Matched Filter	6-7
6.4	Das Matched Filter als Korrelator	6-13
6.5	Matched Filter für farbige Störsignale	6-15
6.6	Matched Filter für eine Pulsfolge bei weißem Störsignal	6-18
6.7	Likelihood Ratio Filter	6-23
6.8	Numerische Berechnung von Operationen mit komplexen Matrizen und Vektoren	6-31
6.9	Vergleich von Matched Filter und Likelihood Ratio Filter	6-34
6.10	Prewhitening Filter für eine Pulsfolge	6-36
	Literaturverzeichnis	6-39
7	Dopplerverarbeitung	7-1
7.1	Übersicht	7-1
7.2	Das MTI-Prinzip	7-2
7.3	Klassifizierung der Dopplerverarbeitung	7-4
7.4	Clutter-Eigenschaften	7-6

7.5	Kenngrößen der Dopplerverarbeitung	7-10
7.6	MTI-Radar	7-20
7.7	PRF-Staffelung bei MTI-Radaren	7-29
7.8	Improvementfaktor-Bilanz und SCV eines MTI-Radars	7-44
7.9	Das MTD-Radar oder Pulsdoppler-Radar	7-46
7.10	Dopplerfilterbank mit komplexen FIR-Filtern	7-52
7.11	Dopplerfilterbank mit FFT (DFT)	7-67
7.12	SIR-Improvement-Bilanz und SCV eines MTD-Radars	7-71
7.13	Auswirkungen von Geräteinstabilitäten	7-78
	Literaturverzeichnis	7-91
8	Pulskompression	8-1
8.1	Übersicht	8-1
8.2	Allgemeine Aspekte der Pulskompression	8-2
8.3	Die Ambiguity-Funktion	8-6
8.4	Lineare Frequenzmodulation	8-10
8.5	Nichtlineare Frequenzmodulation	8-16
8.6	Biphasenmodulation	8-23
8.7	Polyphasenmodulation	8-28
8.8	Ein allgemeines Verfahren zur Nebenkeulen-Reduktion	8-34
8.9	Realisierungsmöglichkeiten	8-39
	Literaturverzeichnis	8-48
9	CFAR-Methoden	9-1
9.1	Übersicht	9-1
9.2	Cell-Averaging-CFAR (CA-CFAR)	9-2
9.3	Ordered Statistic-CFAR (OS-CFAR)	9-8
9.4	Eine Näherungsformel für den CFAR-Verlust der CA-CFAR und OS-CFAR	9-15
9.5	CFAR-Methoden bei Boden-Restclutter	9-17
9.6	Zusammenschaltung verschiedener CFAR-Schwellen	9-24
9.7	Unterdrückung von Straßenverkehrsechos	9-25
9.8	Unterdrückung von Angelclutter	9-26
	Literaturverzeichnis	9-27
10	Parameterschätzung	10-1
10.1	Übersicht	10-1
10.2	Grundlagen der Parameterschätzung	10-2
10.3	Rauschbedingte Fehler bei der Entfernungsmessung	10-4

10.4	Rauschbedingte Fehler bei der Winkelmessung	10-10
10.5	Rauschbedingte Fehler bei der Dopplermessung	10-12
10.6	Reduktion oder Auflösung von Mehrdeutigkeiten	10-15
10.7	Meßfehler durch Glint und Szintillation	10-17
10.8	Begrenzung der Azimutmeßgenauigkeit durch Szintillation (Fluktuation)	10-20
10.9	Beispiel zur Parameterschätzung: MTD-Radar	10-20
10.10	Zielauflösung	10-23
	Literaturverzeichnis	10-24

Anhang:

A	Determinierte Signale und lineare Systeme	A-1
A.1	Übersicht	A-1
A.2	Fourier-Reihe in reeller Schreibweise	A-2
A.3	Komplexe Darstellung von Sinussignalen	A-4
A.4	Fourier-Reihe in komplexer Schreibweise	A-6
A.5	Fourier-Transformation	A-7
A.6	Dirac-Impuls oder Dirac-Stoß	A-13
A.7	Kontinuierliche lineare Systeme	A-16
A.8	Das Faltungsintegral	A-20
A.9	Laplace-Transformation	A-26
A.10	Die beiden Abtasttheoreme	A-28
A.11	Diskrete Systeme und z-Transformation	A-34
A.12	Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	A-47
A.13	Diskrete Faltung	A-55
A.14	Korrelation determinierter Signale	A-69
A.15	Formelsammlung	A-82
	Literaturverzeichnis	A-92
B	Formelzeichen und Abkürzungen	B-1
B.1	Liste der wichtigsten Formelzeichen	B-1
B.2	Abkürzungen und Begriffe	B-7

Sachwortverzeichnis