

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
I Grundlagen, Filterung und Spektralanalyse	1
1 Einleitung	3
2 Diskrete Signale und Systeme	9
2.1 Elementare diskrete Signale	10
2.2 Eigenschaften diskreter Systeme	12
2.3 Eigenschaften diskreter Signale und Systeme im Frequenzbereich	16
2.4 Das Abtasttheorem	20
2.4.1 Zusammenhang zwischen den Spektren diskreter und kontinuierlicher Zeitsignale	20
2.4.2 Alternative Formulierung des Abtasttheorems: Spektrum eines abgetasteten Signals	23
2.4.3 Deutung des Abtasttheorems anhand der Interpolationsformel für bandbegrenzte Signale	25
2.5 Komplexe diskrete Zeitsignale	27
2.5.1 Äquivalente Tiefpaß-Darstellung reeller Bandpaßsignale	27
2.5.2 Spektren komplexer Zeitsignale	32
2.5.3 Komplexe Faltung	35
2.6 Zeitdiskrete stochastische Prozesse	36
2.7 Spektraldarstellung diskreter stochastischer Prozesse	43
2.7.1 Definition der spektralen Leistungsdichte	43

2.7.2	Einfluß eines linearen Systems	45
2.8	Basisbanddarstellung stationärer Bandpaßprozesse	48
3	Die Z-Transformation	53
3.1	Definition der Z-Transformation	53
3.2	Existenz der Z-Transformierten	56
3.3	Inverse Z-Transformation	61
3.4	Eigenschaften der Z-Transformation	63
3.5	Die Systemfunktion	66
3.5.1	Herleitung der Z-Übertragungsfunktion	66
3.5.2	Amplitudengang, Phasengang und Gruppenlaufzeit diskreter Systeme	69
3.5.3	Stabilitätskriterium im z-Bereich	73
4	Rekursive Filter	77
4.1	Kanonische rekursive Filterstrukturen	78
4.2	Entwurf selektiver rekursiver Filter	82
4.2.1	Transformation kontinuierlicher in diskrete Systeme	82
4.2.2	Grundlagen zum Entwurf kontinuierlicher Systeme	88
4.2.3	Standardentwürfe im s' -Bereich	91
4.2.4	Entwurfsbeispiele für rekursive Filter	94
4.3	Spezielle Formen rekursiver Filter	98
4.3.1	Komplexwertige rekursive Filter	98
4.3.2	Allpässe	104
4.3.3	Digitale Integrierer	107
4.4	Quantisierungseinflüsse	109
4.4.1	Darstellung von Festkommazahlen	110
4.4.2	Quantisierung der Filterkoeffizienten	112
4.4.3	Stochastisches Modell des Quantisierungsrauschens	116
4.4.4	Quantisierungsrauschen in rekursiven Filtern	119
4.4.5	Spektralformung des Quantisierungsrauschens	122
4.4.6	Grenzyklen	127
4.4.7	Skalierung	136
4.5	Entwurf digitaler Filter mit Hilfe von LC-Abzweigschaltungen	142
4.5.1	Beschreibung von LC-Abzweigschaltungen durch Vierpolelemente	142
4.5.2	Methode des invarianten Spannungsübertragungsverhältnisses	144

4.5.3	Impedanz-Transformation	149
4.5.4	Quellen und Abschlußwiderstände	151
4.5.5	Transformation des gesamten LC-Filters	153
5	Nichtrekursive Filter	157
5.1	Systeme mit endlicher Impulsantwort: FIR-Filter	158
5.2	Systeme mit linearer Phase	164
5.2.1	Komplexwertige linearphasige Systeme	164
5.2.2	Die vier Grundtypen reellwertiger linearphasiger Filter	167
5.3	Entwurf linearphasiger FIR-Filter	172
5.3.1	Grundformen idealisierter selektiver Filter	172
5.3.2	Approximation im Sinne minimalen Fehlerquadrats: Fourier-Approximation	178
5.3.3	Filterentwurf durch Fensterbewertung der idealen Impulsantwort	181
5.3.4	Tschebyscheff-Approximation im Sperrbereich: Dolph-Tschebyscheff-Entwurf	189
5.3.5	Tschebyscheff-Approximation im Durchlaß- und Sperrbereich: Remez-Entwurf	193
5.4	Entwurf spezieller nichtrekursiver Systeme	197
5.4.1	Zeitdiskrete Differenzierer	197
5.4.2	Zeitdiskrete Hilbert-Transformatoren	201
5.4.3	Interpolationsfilter	204
5.5	Komplexwertige Systeme	209
5.5.1	Komplexwertige Systeme zur Erzeugung analytischer Zeitsignale	209
5.5.2	Äquivalente Tiefpaßsysteme für digitale Bandpaßfilter	214
6	Die diskrete Fourier-Transformation (DFT)	219
6.1	Definition der DFT	220
6.2	Eigenschaften der DFT	224
6.3	Zusammenhänge zwischen der DFT und anderen Transformationen	232
6.4	Die schnelle Fourier-Transformation (FFT)	234
6.4.1	Reduktion im Zeitbereich	235
6.4.2	Reduktion im Frequenzbereich	241
6.4.3	Alternative Formen der FFT	245

6.4.4	Inverse FFT	247
6.5	Anwendung der FFT zur digitalen Filterung; Schnelle Faltung	248
6.5.1	Overlap-add-Verfahren	248
6.5.2	Overlap-save-Verfahren	255
7	Spektralanalyse determinierter Signale	259
7.1	Diskrete Fourier-Transformation reeller Folgen	260
7.1.1	Simultane Transformation zweier Folgen	261
7.1.2	Transformation einer Folge der Länge $2N$ durch eine N -Punkte-FFT	262
7.2	Spektraltransformation reeller Bandpaßsignale	265
7.2.1	Abtasttheorem für Bandpaßsignale	265
7.2.2	Spektraltransformation der komplexen Einhüllenden	271
7.3	Spektralanalyse periodischer Signale	274
7.3.1	Abtastung eines zeitkontinuierlichen periodischen Signals	274
7.3.2	Diskrete Fourier-Transformation einer komplexen Exponentialfolge	275
7.3.3	Der Leck-Effekt	277
7.4	Anwendung von Fensterfunktionen im Zeitbereich	280
7.4.1	Allgemeine Interpretation des Leck-Effektes	280
7.4.2	Hann-Fenster als Beispiel für die prinzipielle Wirkungsweise einer Fensterung im Zeitbereich	282
7.4.3	Weitere gebräuchliche Fensterfunktionen	286
7.4.4	Gleichmäßige Approximation im Sperrbereich: Dolph-Tschebyscheff-Fenster	288
7.4.5	Übersicht über die verschiedenen Fensterfunktionen	290
8	Traditionelle Spektralschätzung	295
8.1	Schätzung von Autokorrelationsfolgen	297
8.2	Berechnung von Autokorrelationsfolgen mit FFT	304
8.3	Das Periodogramm	313
8.3.1	Zusammenhang zwischen Periodogramm und AKF-Schätzung	314
8.3.2	Erwartungstreue des Periodogramms	316
8.3.3	Varianz des Periodogramms	319
8.4	Konsistente Spektralschätzung	323

8.4.1	Mittelung von Periodogrammen (Bartlett-Methode)	323
8.4.2	Fensterung der Datensegmente (Welch-Methode)	326
8.4.3	Korrelogramm-Verfahren (Blackman-Tukey-Schätzung)	329
8.5	Vergleich Periodogramm-Korrelogramm	334
9	Parametrische Spektralschätzung	341
9.1	ARMA-Modelle zur Beschreibung von Rauschprozessen	343
9.2	Markoff-Prozeß als autoregressives Modell erster Ordnung	348
9.3	Die Yule-Walker Gleichung	351
9.4	Lineare Prädiktion	354
9.4.1	Ableitung der Wiener-Hopf Gleichung für ein nichtrekursives Prädiktionsfilter	354
9.4.2	Das Orthogonalitätsprinzip	357
9.4.3	Zusammenhang zwischen linearer Prädiktion und autoregressiver Modellierung	358
9.5	Die Levinson-Durbin Rekursion	361
9.5.1	Ableitung der PARCOR-Koeffizienten	361
9.5.2	Rekursive Berechnung der Prädiktionsfehlerleistung	364
9.5.3	Rekursionsformel zur Berechnung der Prädiktor- koeffizienten (Levinson-Durbin Rekursion)	366
9.6	Die Lattice-Struktur	369
9.6.1	Ableitung des Analysefilters in Lattice-Form	369
9.6.2	Rekursive Synthesefilter in Lattice-Struktur	373
9.6.3	Minimalphasigkeit des Analysefilters – Stabilität des Synthesefilters	375
9.6.4	Orthogonalität des Rückwärts-Prädiktorfehlers	379
9.6.5	Übersicht über die verschiedenen Beschreibungs- formen für autoregressive Prozesse	383
9.7	Lösung der Yule-Walker Gleichung	385
9.7.1	Yule-Walker- oder Autokorrelationsansatz	386
9.7.2	Kovarianzmethode	388
9.7.3	Burg-Algorithmus	390
9.8	Beispiele zur parametrischen Spektralschätzung	394
9.8.1	Erprobung anhand synthetischer Testsignale	394
9.8.2	Anwendungen zur Sprachcodierung	398

II	Matlab-Übungen	407
	<i>von D. Boss, A. Dekorsy und J. Rinas</i>	
1.	Einleitung	409
2.	Aufgaben	411
2.1	Diskrete Signale und Systeme (Kap. 2)	411
2.2	Rekursive Filter (Kap. 4)	425
2.3	Nichtrekursive Filter (Kap. 5)	430
2.4	Die diskrete Fourier-Transformation (Kap. 6)	435
2.5	Spektralanalyse determinierter Signale (Kap. 7)	436
2.6	Traditionelle Spektralschätzung (Kap. 8)	439
2.7	Parametrische Spektralschätzung (Kap. 9)	441
3.	Lösungen	447
3.1	Diskrete Signale und Systeme (Kap. 2)	447
3.2	Rekursive Filter (Kap. 4)	467
3.3	Nichtrekursive Filter (Kap. 5)	471
3.4	Die diskrete Fourier-Transformation (Kap. 6)	479
3.5	Spektralanalyse determinierter Signale (Kap. 7)	482
3.6	Traditionelle Spektralschätzung (Kap. 8)	494
3.7	Parametrische Spektralschätzung (Kap. 9)	500
4.	m-Files	513
	Literaturverzeichnis	547
	Sachverzeichnis	555