



Inhaltsverzeichnis

Daniel von Grünigen

Digitale Signalverarbeitung

mit einer Einführung in die kontinuierlichen Signale und Systeme

ISBN (Buch): 978-3-446-44079-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-43991-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44079-1>

sowie im Buchhandel.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Grundlagen . . . . .	1
1.2 Der Signalprozessor als Digitalrechner . . . . .	5
1.3 Anwendungsbeispiele . . . . .	7
1.3.1 Korrelation . . . . .	8
1.3.2 Diskrete Fourier-Transformation . . . . .	9
1.3.3 Digitale Filterung . . . . .	11
1.3.4 Signalerzeugung . . . . .	12
1.4 Vor- und Nachteile der DSV . . . . .	14
1.4.1 Vorteile der digitalen Signalverarbeitung . . . . .	14
1.4.2 Nachteile der digitalen Signalverarbeitung . . . . .	15
<b>2 Kontinuierliche Signale und Systeme</b>	<b>17</b>
2.1 Charakterisierung von Signalen . . . . .	17
2.1.1 Elementarsignale . . . . .	17
2.1.2 Kontinuierliche und diskrete Signale . . . . .	21
2.1.3 Deterministische und stochastische Signale . . . . .	21
2.1.4 Periodische, kausale, gerade und ungerade Signale . . . . .	22
2.1.5 Reelle und komplexe Signale . . . . .	24
2.1.6 Energie- und Leistungssignale . . . . .	26
2.1.7 Orthogonale Signale . . . . .	28
2.2 Fourier-Reihe und Fourier-Transformation . . . . .	29
2.2.1 Fourier-Reihe . . . . .	29

2.2.2	Fourier-Transformation . . . . .	33
2.2.3	Eigenschaften der Fourier-Transformation . . . . .	40
2.3	Faltung und Korrelation von Signalen . . . . .	51
2.3.1	Faltung von Signalen . . . . .	51
2.3.2	Korrelation von Signalen . . . . .	55
2.4	Die Laplace-Transformation . . . . .	57
2.4.1	Definition und Beispiele . . . . .	57
2.4.2	Vergleich der Laplace- mit der Fourier-Transformation . . . . .	60
2.5	Kontinuierliche Systeme . . . . .	65
2.5.1	Grundlagen . . . . .	65
2.5.2	Impulsantwort und Faltung . . . . .	66
2.5.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion . . . . .	69
2.5.4	Differentialgleichung und Übertragungsfunktion . . . . .	80
2.5.5	Bandbreite und Zeitspezifikationen . . . . .	86
	Aufgaben . . . . .	88
<b>3</b>	<b>Signalabtastung und Rekonstruktion</b>	<b>93</b>
3.1	Abtastung . . . . .	93
3.2	Signalrekonstruktion . . . . .	97
3.2.1	Ideale Rekonstruktion und Abtasttheorem . . . . .	97
3.2.2	Signalrekonstruktion mittels Halteglied . . . . .	101
3.2.3	Rekonstruktion mittels linearer Interpolation . . . . .	103
3.3	Antialiasing- und Glättungsfilter . . . . .	105
3.3.1	Antialiasingfilter . . . . .	105
3.3.2	Glättungsfilter . . . . .	107
	Aufgaben . . . . .	108
<b>4</b>	<b>Zeitdiskrete Signale und Systeme</b>	<b>111</b>
4.1	Zeitdiskrete Signale . . . . .	111
4.1.1	Grundlagen . . . . .	111
4.1.2	Zeitdiskrete Elementarsignale . . . . .	113
4.1.3	Periodische und kausale diskrete Signale . . . . .	114
4.1.4	Diskrete Energie- und Leistungssignale . . . . .	115
4.2	Lineare zeitinvariante diskrete Systeme . . . . .	120

4.2.1	Grundlagen . . . . .	120
4.2.2	Impulsantwort . . . . .	121
4.2.3	Diskrete Faltung . . . . .	122
4.3	Die z-Transformation . . . . .	125
4.3.1	Von der Fourier- zur z-Transformation . . . . .	125
4.3.2	Eigenschaften der z-Transformation . . . . .	128
4.3.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion . . . . .	130
4.4	Nichtrekursive und rekursive Systeme . . . . .	135
4.4.1	Differenzgleichung . . . . .	135
4.4.2	Übertragungsfunktion . . . . .	140
	Aufgaben . . . . .	143
<b>5</b>	<b>Zeitdiskrete stochastische Signale</b>	<b>147</b>
5.1	Die Zufallsvariable . . . . .	147
5.2	Erwartungswerte . . . . .	151
5.3	Stochastische Signale . . . . .	156
5.3.1	Mittelwert und Korrelation stochastischer Signale . . . . .	158
5.3.2	Stationäre und ergodische Signale . . . . .	159
5.4	Leistungsdichtespektrum und Filterung . . . . .	164
5.4.1	Leistungsdichtespektrum . . . . .	164
5.4.2	Filterung stochastischer Signale . . . . .	166
5.5	Schätzung von Erwartungswerten . . . . .	169
5.5.1	Eigenschaften von Schätzfunktionen . . . . .	169
5.5.2	Schätzung des Mittelwerts und der Korrelationsfunktion . . . . .	171
	Aufgaben . . . . .	177
<b>6</b>	<b>Diskrete Fourier-Transformation</b>	<b>181</b>
6.1	Einführung . . . . .	181
6.1.1	Motivation . . . . .	181
6.1.2	Definition . . . . .	182
6.2	Interpretationen und Eigenschaften der DFT . . . . .	183
6.2.1	Matrix-Interpretation der DFT . . . . .	183
6.2.2	Die DFT-Koeffizienten als Korrelationen . . . . .	185
6.2.3	Graphische Interpretation . . . . .	186

6.2.4	Eigenschaften der DFT . . . . .	187
6.3	Die DFT als Approximation . . . . .	188
6.3.1	Die DFT als Approximation der Fourier- Transformierten . . . . .	189
6.3.2	Die DFT als Approximation der Fourier-Reihe . . . . .	190
6.3.3	Die DFT als Approximation der DTFT . . . . .	191
6.4	Die Berechnung der DFT mittels der FFT . . . . .	192
6.5	Der Goertzel-Algorithmus . . . . .	196
6.5.1	Herleitung . . . . .	197
6.5.2	Der Goertzel-Algorithmus als dezimierendes Bandpassfilter . . . . .	199
6.6	Fensterung . . . . .	202
6.6.1	Die DFT periodischer Signale . . . . .	202
6.6.2	Mathematische Interpretation der Fensterung . . . . .	204
6.6.3	Fensterung und spektrale Auflösung . . . . .	205
6.6.4	Fensterfunktionen . . . . .	206
6.7	Die praktische Durchführung der DFT . . . . .	212
6.7.1	Die Wahl der Abtastfrequenz . . . . .	212
6.7.2	Die Wahl der Anzahl Abtastwerte . . . . .	213
6.7.3	Beispiele . . . . .	215
6.7.4	Fazit . . . . .	222
	Aufgaben . . . . .	222
<b>7</b>	<b>Digitalfilter</b>	<b>227</b>
7.1	Einführung . . . . .	227
7.1.1	Echtzeitsystem zur digitalen Filterung . . . . .	227
7.1.2	Filterfunktionen . . . . .	228
7.1.3	Das Digitalfilter als LTI-System . . . . .	231
7.2	Eigenschaften und Strukturen digitaler Filter . . . . .	234
7.2.1	Eigenschaften und Strukturen von FIR-Filtern . . . . .	234
7.2.2	Eigenschaften und Strukturen von IIR-Filtern . . . . .	240
7.3	Entwurf digitaler Filter . . . . .	247
7.3.1	Einführung . . . . .	247
7.3.2	Entwurf von FIR-Filtern . . . . .	250
7.3.3	Entwurf von IIR-Filtern . . . . .	254

7.4	Nichtideale Effekte bei Digitalfiltern . . . . .	258
7.4.1	Zahlendarstellungen . . . . .	258
7.4.2	Quantisierung bei der Analog-Digital-Wandlung . . . . .	262
7.4.3	Quantisierung der Filterkoeffizienten . . . . .	266
7.4.4	Überlauf und Quantisierung von Zwischen- ergebnissen . . . . .	269
7.4.5	Skalierung zur Verhinderung von Überläufen . . . . .	272
7.4.6	Quantisierungsrauschen . . . . .	276
7.4.7	Zusammenfassung . . . . .	281
7.5	Realisierung digitaler Filter . . . . .	283
7.5.1	Vorgehen zur Realisierung eines Digitalfilters . . . . .	283
7.5.2	Anwendungsbeispiel . . . . .	287
	Aufgaben . . . . .	291
<b>8</b>	<b>Signalgeneratoren</b>	<b>301</b>
8.1	Einfache Signalgeneratoren . . . . .	301
8.1.1	Sägezahngenerator . . . . .	302
8.1.2	Rechteckgenerator . . . . .	304
8.1.3	Dreieckgenerator . . . . .	306
8.2	Direkte digitale Synthese . . . . .	308
8.3	Polynomapproximation . . . . .	310
8.4	Impulsantwort-Generatoren . . . . .	316
8.4.1	Das stabile Digitalfilter als Signalgenerator . . . . .	316
8.4.2	Das instabile Digitalfilter als Sinusoszillator . . . . .	317
8.4.3	Kombinierter Sinus-Cosinus-Oszillator . . . . .	319
8.5	Rauschgeneratoren . . . . .	321
8.5.1	Rauschgenerator mit gleichverteilten Abtastwerten . . . . .	321
8.5.2	Rauschgenerator mit gaussverteilten Abtastwerten . . . . .	322
8.5.3	Generator für farbiges Rauschen . . . . .	323
	Aufgaben . . . . .	324
<b>A</b>	<b>Begleitdateien und Programme zum Buch</b>	<b>327</b>
A.1	Begleitdateien und Installation . . . . .	327
A.2	Das MATLAB-Programm <code>spfilt</code> . . . . .	329
A.3	Der MATLAB-Simulator <code>simdsp</code> . . . . .	333

A.4	Das MATLAB-Programm <code>spsound</code> . . . . .	335
A.5	Das Programm <code>spsound</code> . . . . .	338
A.5.1	Realisierung von Digitalfiltern mit <code>spsound</code> . . . . .	341
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>345</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>349</b>