

Daniel Ch. von Grünigen

Digitale Signalverarbeitung

mit einer Einführung
in die kontinuierlichen Signale
und Systeme

4. Auflage

Mit 222 Bildern, 91 Beispielen, 80 Aufgaben
sowie einer CD-ROM mit Lösungen sowie Entwurfs- und
Simulationsprogrammen

Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
1.1 Grundlagen	1
1.2 Der Signalprozessor als Digitalrechner	4
1.3 Anwendungen	6
1.3.1 Korrelation	7
1.3.2 Diskrete Fourier-Transformation	8
1.3.3 Digitale Filterung	10
1.3.4 Signalerzeugung	11
1.4 Vorteile und Nachteile der DSV	12
1.4.1 Vorteile der digitalen Signalverarbeitung	13
1.4.2 Nachteile der digitalen Signalverarbeitung	14
2 Kontinuierliche Signale und Systeme	17
2.1 Charakterisierung von Signalen	17
2.1.1 Elementarsignale	17
2.1.2 Kontinuierliche und diskrete Signale	20
2.1.3 Deterministische und stochastische Signale	21
2.1.4 Periodische, kausale, gerade und ungerade Signale	21
2.1.5 Reelle und komplexe Signale	23
2.1.6 Energie- und Leistungssignale	23
2.1.7 Orthogonale Signale	24
2.2 Fourier-Reihe und Fourier-Transformation	25
2.2.1 Fourier-Reihe	25

2.2.2	Fourier-Transformation	28
2.2.3	Eigenschaften der Fourier-Transformation	35
2.3	Faltung und Korrelation von Signalen	45
2.3.1	Faltung von Signalen	45
2.3.2	Korrelation von Signalen	50
2.4	Die Laplace-Transformation	52
2.4.1	Definition und Beispiele *	52
2.4.2	Vergleich der Laplace- mit der Fourier-Transformation . . .	54
2.5	Kontinuierliche Systeme	61
2.5.1	Grundlagen	61
2.5.2	Impulsantwort und Faltung	62
2.5.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion	65
2.5.4	Differentialgleichung und Übertragungsfunktion	74
2.5.5	Bandbreite und Zeitspezifikationen	80
2.6	Abtastung und Rekonstruktion	82
2.6.1	Abtastung	82
2.6.2	Rekonstruktion und Abtasttheorem	84
2.6.3	Antialiasingfilter und Abtastfrequenz	87
2.6.4	Rekonstruktion und Glättungsfilter	89
	Aufgaben	90
3	Zeitdiskrete Signale und Systeme	97
3.1	Zeitdiskrete Signale	97
3.1.1	Zeitdiskrete Elementarsignale	98
3.1.2	Periodische und kausale diskrete Signale	100
3.1.3	Diskrete Energie- und Leistungssignale	101
3.2	Lineare zeitinvariante diskrete Systeme	104
3.2.1	Grundlagen	104
3.2.2	Impulsantwort	105
3.2.3	Die diskrete Faltung >	106
3.3	Die z-Transformation	109
3.3.1	Von der Fourier- zur z-Transformation	109
3.3.2	Eigenschaften der z-Transformation	112
3.3.3	Frequenzgang und Übertragungsfunktion	114

3.4	Nichtrekursive und rekursive Systeme	119
3.4.1	Differenzgleichung	149
3.4.2	Übertragungsfunktion i	123
	Aufgaben	127
4	Zeitdiskrete stochastische Signale	131
4.1	Die Zufallsvariable	131
4.2	Erwartungswerte	134
4.3	Stochastische Signale	139
4.3.1	Mittelwert und Korrelation stochastischer Signale	140
4.3.2	Stationäre und ergodische Signale	141
4.4	Leistungsdichtespektrum und Filterung	145
4.4.1	Leistungsdichtespektrum.	145
4.4.2	Filterung stochastischer Signale.	148
4.5	Schätzung von Erwartungswerten	150
4.5.1	Eigenschaften von Schätzfunktionen	150
4.5.2	Schätzung des Mittelwertes und der Korrelationsfunktion	151
	Aufgaben	158
5	Diskrete Fourier-Transformation	163
5.1	Einführung	163
5.1.1	Motivation	163
5.1.2	Definition	164
5.2	Interpretation und Eigenschaften der DFT.	165
5.2.1	Matrix-Interpretation der DFT.	165
5.2.2	Die DFT-Koeffizienten als Korrelationen.	167
5.2.3	Graphische Interpretation.	168
5.2.4	Eigenschaften der DFT.	169
5.3	Die DFT als Approximation	170
5.3.1	Die DFT als Approximation der Fourier-Transformierten.	171
5.3.2	Die DFT als Approximation der Fourier-Reihe.	172
5.3.3	Die DFT als Approximation der DTFT.	173
5.4	Die Berechnung der DFT mittels der FFT.	174
5.5	Der Goertzel-Algorithmus.	178

5.5.1	Herleitung	178
5.5.2	Der Goertzel-Algorithmus als dezimierendes Bandpassfilter	181
5.6	Fensterung	184
5.6.1	Die DFT periodischer Signale	184
5.6.2	Mathematische Interpretation der Fensterung	186
5.6.3	Fensterfunktionen	187
5.7	Die praktische Durchführung der DFT	194
5.7.1	Die Wahl der Abtastfrequenz	194
5.7.2	Die Wahl der Anzahl Abtastwerte	195
5.7.3	Beispiele	196
5.7.4	Fazit	203
	Aufgaben	204
6	Digitalfilter	209
6.1	Einführung	209
6.1.1	Echtzeitsystem zur digitalen Filterung	209
6.1.2	Filterfunktionen	210
6.1.3	Das Digitalfilter als LTI-System	213
6.2	Eigenschaften und Strukturen digitaler Filter	216
6.2.1	Eigenschaften und Strukturen von FIR-Filtern	216
6.2.2	Eigenschaften und Strukturen von IIR-Filtern	222
6.3	Entwurf digitaler Filter	229
6.3.1	Einführung	229
6.3.2	Entwurf von FIR-Filtern	231
6.3.3	Entwurf von IIR-Filtern	235
6.4	Nichtideale Effekte bei Digitalfiltern	239
6.4.1	Zahlendarstellungen	239
6.4.2	Quantisierung bei der Analog-Digital-Wandlung	244
6.4.3	Quantisierung der Filterkoeffizienten	247
6.4.4	Überlauf und Quantisierung von Zwischen- ergebnissen	250
6.4.5	Skalierung zur Verhinderung von Überläufen	252
6.4.6	Quantisierungsrauschen	257
6.4.7	Zusammenfassung	262

6.5	Realisierung digitaler Filter.	264
6.5.1	Vorgehen zur Realisierung eines Digitalfilters.	264
6.5.2	Anwendungsbeispiel.	268
	Aufgaben.	272
7	Signalgeneratoren	281
7.1	Einfache Signalgeneratoren.	281
7.1.1	Sägezahngenerator.	282
7.1.2	Rechteckgenerator.	284
7.1.3	Dreieckgenerator.	286
7.2	Direkte digitale Synthese.	288
7.3	Polynomapproximation.	290
7.4	Impulsantwort-Generatoren.	296
7.4.1	Das stabile Digitalfilter als Signalgenerator.	296
7.4.2	Das instabile Digitalfilter als Sinusoszillator.	297
7.4.3	Kombinierter Sinus-Cosinus-Oszillator.	299
7.5	Rauschgeneratoren.	301
7.5.1	Rauschgenerator mit gleichverteilten Abtastwerten	301
7.5.2	Rauschgenerator mit gaussverteilten Abtastwerten	302
7.5.3	Generator für farbiges Rauschen.	303
	Aufgaben.	304
A	Inhalt der CD-ROM	307
A.1	Inhaltsverzeichnis der CD-ROM.	307
A.2	Voraussetzungen.	308
A.3	Installation.	308
A.3.1	Installation des 'Code-Composers'.	308
A.3.2	Installation des Programmpakets 'dsptools'.	308
A.3.3	Installation des Verzeichnisses 'MatDSVI'.	309
A.4	Das DSV-System TMS320VC5510-DSK.	309
B	Das Programm spf ilt	313
B.1	Starten.	313
B.2	Bedienung.	313
B.2.1	Grundlagen.	313

B.2.2	Benutzeroberfläche	314
B.2.3	Export und Import von Filtern	316
B.2.4	Code-Generator	318
B.2.5	Hilfe bei Problemen mit <code>spfilt</code>	319
B.2.6	Zusammenfassung	319
C	Der Simulator <code>simdsp</code>	321
C.1	Starten	321
C.2	Bedienung	321
C.2.1	Grundlagen	321
C.2.2	Benutzeroberfläche	322
C.2.3	Prozessor-Einstellungen	324
C.2.4	Bedeutung der Prozessor-Einstellungen bei der Digitalfilter-Simulation	327
D	Das Programm <code>sngen</code>	329
D.1	Starten	329
D.2	Bedienung	329
D.2.1	Grundlagen	329
D.2.2	Benutzeroberfläche	330
D.2.3	Code-Generator	332
D.2.4	Hilfe bei Problemen mit <code>sngen</code>	333
D.2.5	Zusammenfassung	333
	Literaturverzeichnis	335
	Index	340