

P. Gerdson, P. Kröger

Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragung

Elemente, Bausteine,
Systeme und ihre Algorithmen

Zweite, erweiterte Auflage

Mit 226 Abbildungen
und 45 Übungsbeispielen in Matlab/Simulink

Begleitdiskette mit Algorithmen und Matlab/Simulink-Toolbox



Springer

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Prinzip der DSV	1
1.2 Merkmale der DSV	2
1.3 Einsatzgebiete der DSV	3
2 Grundlagen der DSV	5
2.1 Zahlenfolgen.....	6
2.1.1 Digitalisierung eines analogen Tiefpaßsignals	6
2.1.2 Elementarfolgen.....	10
2.1.3 Z-Transformation	13
2.1.4 Beschreibung einer DSV.....	15
2.1.4.1 Differenzgleichung	15
2.1.4.2 Übertragungsfunktion	16
2.1.4.3 Impulsantwortfolge	17
2.1.4.4 Komplexer Frequenzgang.....	19
2.2 Diskrete Fourier-Transformation (DFT): Analyse von Zahlenfolgen	20
2.2.1 Fourier-Transformation von Zahlenfolgen	21
2.2.1.1 Fourier-Transformation periodischer Zahlenfolgen	21
2.2.1.2 Fourier-Transformation nichtperiodischer Zahlenfolgen	24
2.2.2 Kurzzeit-Fourier-Transformation von Zahlenfolgen.....	26
2.2.2.1 Herleitung der DFT.....	27
2.2.2.2 Spektraler Leckeffekt und Lattenzauneffekt.....	32
2.3 Digitale Filter: Filterung von Zahlenfolgen.....	36
2.3.1 Entwurf rekursiver Systeme.....	37
2.3.1.1 Bilineare Transformation.....	38

2.3.1.2	Impulsinvariante Transformation	40
2.3.2	Entwurf nichtrekursiver Systeme	41
2.3.2.1	Fourier-Approximation.....	42
2.3.2.2	Fenstertechnik	44
2.4	Veränderung der Abtastfrequenz	46
2.4.1	Interpolation	46
2.4.2	Dezimation	49
3	Algorithmen der DSV.....	53
3.1	Struktur und Beschreibung algorithmischer Systeme	53
3.1.1	Hierarchischer Systemaufbau	53
3.1.2	Beschreibungsverfahren.....	56
3.1.2.1	Mathematische Darstellung.....	57
3.1.2.2	Graphische Darstellung	58
3.1.2.3	Algorithmische Darstellung	60
3.2	Algorithmische Elemente: Mathematische Operationen.....	62
3.2.1	Zahlendarstellung.....	62
3.2.1.1	Festkommazahlen	63
3.2.1.2	Zweierkomplementdarstellung	64
3.2.1.3	Wortlängenbegrenzung.....	65
3.2.1.4	Überlauf.....	68
3.2.1.5	Gleitkommazahlen	69
3.2.2	Addition.....	69
3.2.3	Multiplikation	70
3.2.3.1	Multiplikation mit einer Konstanten.....	70
3.2.3.2	Multiplikation zweier Variabler.....	71
3.2.4	Division	72
3.2.5	Verzögerung.....	73
3.3	Algorithmische Bausteine.....	75
3.3.1	Digitale Filter	76
3.3.1.1	Filternetzwerke.....	76
3.3.1.2	Grundalgorithmus.....	79
3.3.1.3	Kanonisches Netzwerk	81
3.3.1.4	Modulo-Adressierung	84
3.3.1.5	Halbband-Tiefpaß mit Dezimation	85

3.3.1.6	Integrator	86
3.3.1.7	Differentiator	89
3.3.1.8	Hilbert-Transformator	91
3.3.2	Nichtlineare Kennlinie	97
3.3.2.1	Prinzip	97
3.3.2.2	Übersicht	98
3.3.2.3	Spektrale Gesichtspunkte	99
3.3.2.4	Polynomapproximation	100
3.3.2.5	Tabellenverfahren	103
3.3.2.6	Gleichrichtung und Begrenzung	105
3.3.2.7	Wurzelkennlinie	106
3.3.3	CORDIC-Algorithmus	108
3.3.3.1	Grundlagen	108
3.3.3.2	Umformung des Gleichungssystems	110
3.3.3.3	Betrag und Winkel	112
3.3.3.4	Sinus und Cosinus	114
3.3.4	Schwingungserzeugung	115
3.3.4.1	Prinzipien	115
3.3.4.2	Relaxationverfahren	118
3.3.4.3	Bandpaßfilterung	121
3.3.4.4	Veränderung der Kurvenform	122
3.3.4.5	Konjugiert komplexes Polpaar	125
3.3.4.6	Sinus-Cosinus-Generator	126
3.3.5	Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	129
3.3.5.1	Direkte Programmierung	130
3.3.5.2	Schnelle Fourier-Transformation (FFT)	134
3.3.5.3	Rekursive Diskrete Fourier-Transformation (RDFT)	148
3.3.5.4	Chirp-Z-Transformation	153
3.3.5.5	Goertzel-Algorithmus	159
3.4	Algorithmische Teilsysteme	164
3.4.1	Quadratsignalverarbeitung	164
3.4.1.1	Hilbert-Transformation	165
3.4.1.2	Analytisches Signal	166
3.4.1.3	Komplexe Hüllkurve	169
3.4.1.4	Quadraturmischung	170

3.4.2	Digitalisierung eines Bandpaßsignals	173
3.4.2.1	Unterabtastung eines Bandpaßsignals	174
3.4.2.2	Bildung eines analytischen Signals	177
3.4.2.3	Analytisches Signal durch Quadraturabwärtsmischung.....	179
3.4.2.4	Zeitversetzte Abtastung	181
3.4.2.5	Zusammenfassung	185
3.4.3	Digitale Phasenregelschleife	185
3.4.3.1	Prinzip.....	186
3.4.3.2	Trägerfrequente DPLL.....	187
3.4.3.3	Basisband-DPLL.....	193
3.5	Algorithmische Systeme in der analogen Übertragungstechnik	197
3.5.1	Empfängerkonzept.....	197
3.5.2	Amplitudendemodulation.....	199
3.5.2.1	Produkt-demodulation.....	200
3.5.2.2	Prinzip der Einseitenbanddemodulation	203
3.5.2.3	Reelles Blockschaltbild.....	205
3.5.3	Frequenzdemodulation.....	211
3.5.3.1	Problematik digitalisierter FM-Signale	211
3.5.3.2	Überblick über die Demodulationsalgorithmen.....	212
3.5.3.3	Trägerfrequenter FM/AM-Wandler	214
3.5.3.4	Basisband-Phasenwandler-Demodulator	217
3.5.3.5	Basisband-Verzögerungsdemodulator	219
3.5.4	Stereo-Decoder.....	226
3.5.4.1	Übertragungsverfahren.....	226
3.5.4.2	Analoger Decoder.....	227
3.5.4.3	Digitaler Decoder	228
3.6	Algorithmische Systeme in der digitalen Übertragungstechnik	231
3.6.1	Modulationssysteme.....	231
3.6.1.1	Bandpaß-Digitalsignal	232
3.6.1.2	Digitale Echomodulation.....	236
3.6.1.3	Digitales System	240
3.6.2	Demodulationssysteme.....	245
3.6.2.1	Universaldemodulator	245
3.6.2.2	Trägerrückgewinnung	248
3.6.3	Adaptive Entzerrung eines Basisband-Digitalsignals	249
3.6.3.1	Gesamtsystem	250

3.6.3.2	Entzerrerfilter	251
3.6.3.3	Signalauswertung	253
3.6.3.4	Koeffizienteneinstellung	254
3.7	Algorithmische Systeme in der Meßtechnik	254
3.7.1	Spektralanalysator mit Zooming	255
3.7.1.1	Basistransformation	256
3.7.1.2	Überlagerungsprinzip	257
3.7.1.3	Subtransformation	260
3.7.2	Voltmeter	267
3.7.2.1	Gleichrichtwert und Effektivwert	268
3.7.2.2	Selektives Voltmeter	270
3.7.3	Mehrwegeempfangs-Simulator	272
3.7.3.1	Aufgabenstellung und Realisierungsmöglichkeiten	272
3.7.3.2	Digitales Realisierungskonzept	273
3.7.3.3	FM-Basisband-Signal	274
3.7.3.4	Digitaler FM-Basisband-Modulator	276
3.7.3.5	Mehrwege-FM-Basisband-Modulator	279
4	Realisierung der DSV	281
4.1	Analoge und digitale Signalverarbeitung	281
4.2	Echtzeit- und Stapelverarbeitung	282
4.3	Wortlängeneffekte	284
4.4	Wortlänge der Wandler	285
4.5	Wortlänge im Rechenwerk	285
4.5.1	Frequenzgang	286
4.5.2	Rauschen	286
4.5.3	Instabilität	287
4.5.3.1	Koeffizientenungenauigkeit	287
4.5.3.2	Grenzyklen	288
4.5.3.3	Überlaufschwingungen	290
5	Entwicklungsmethodik in der DSV	293
5.1	Entwicklungsphasen	293

5.2	Simulation in der Entwurfsphase	297
5.2.1	Funktionssimulation (MATLAB/SIMULINK)	298
5.2.1.1	Zeitkontinuierliches System	300
5.2.1.2	Zeitdiskretes System.....	301
5.2.2	Programmsimulation (DSV_SIM).....	302
5.3	Implementierung	303
5.3.1	Entwicklungsumgebung.....	304
5.3.2	Implementierungsschritte	305
5.3.2.1	Programm-Entwurf	305
5.3.2.2	Programmieren, Assemblieren und Linken	306
5.3.2.3	Hex-Format-Konvertierung und Debugging	306
5.3.2.4	Debugging durch Prozessorsimulation.....	306
6	PC-Übungen mit MATLAB/SIMULINK und DSV_SIM.....	307
6.1	Übung A: Matlab/Simulink	309
6.1.1	Matlab.....	309
6.1.1.1	Command Driven Mode	309
6.1.1.2	File Driven Mode.....	313
6.1.2	Simulink	315
6.1.2.1	Simulationsarten und Simulationsparameter	316
6.1.2.2	Entwurf einfacher Systeme	318
6.1.2.3	Hierarchiebildung	319
6.1.2.4	Dimensionierung und Variation der Modellparameter.....	321
6.2	Übung B: Filter	323
6.2.1	Grundlagen	323
6.2.2	Dateiübersicht	324
6.2.3	Übertragungsstrecke mit Zeit- und Amplitudenquantisierung.....	324
6.2.4	Entwurf von Digitalfiltern.....	328
6.2.5	Untersuchung der Eigenschaften durch Simulation	329
6.2.6	Entwicklung und Untersuchung eines digitalen Netzwerks.....	331
6.2.7	Untersuchung von Wortlängeneffekten.....	332
6.3	Übung C: Mischung und Abtastung von Bandpaßsignalen	335
6.3.1	Grundlagen	335
6.3.2	Dateiübersicht	336
6.3.3	Hilbert-Transformator	336

6.3.4	Auf/Abwärtsmischer mit Hilbert-Transformator	337
6.3.5	Quadratur-Abwärtsmischer ohne Hilbert-Transformator.....	339
6.3.6	Abtastung von Bandpaßsignalen und Herabmischung	340
6.4	Übung D: Modulation.....	341
6.4.1	Grundlagen	342
6.4.2	Dateiübersicht	342
6.4.3	Zweiseitenband-AM mit Produktdemodulator.....	343
6.4.4	Einseitenband-AM-System	347
6.4.5	FM-System mit Basisband-Verzögerungsdemodulator	348
6.5	Übung E: Spektral-Meßtechnik.....	349
6.5.1	Grundlagen	349
6.5.2	Dateiübersicht	350
6.5.3	Diskrete Fourier Transformation	350
6.5.4	Interpolation	350
6.5.5	Leckeffekt und Lattenzauneffekt	352
6.5.6	Zoomverfahren.....	352
6.5.7	Chirp-Z-Transformation	355
6.6	Übung F: Nichtlineare Kennlinie und Schwingungserzeugung.....	356
6.6.1	Grundlagen	356
6.6.2	Dateiübersicht	357
6.6.3	Nichtlineare Kennlinie	358
6.6.4	Schwingungserzeugung	361
7	Anhang.....	365
7.1	Fourier-Transformation	365
7.1.1	Definition	366
7.1.2	Korrespondenzen der Funktionen	366
7.1.3	Korrespondenzen der Rechenoperationen	368
7.2	Z-Transformation	369
7.2.1	Definition	370
7.2.2	Korrespondenzen der Folgen.....	370
7.2.3	Korrespondenzen der Rechenoperationen	372
7.3	Hilbert -Transformation.....	372
7.3.1	Definition	373

7.3.2	Korrespondenzen für Funktionen.....	373
7.3.3	Korrespondenzen für Rechenoperationen	375
7.4	Abtasttheorem für Zeitfunktionen	375
7.5	Einführung in MATLAB	377
7.5.1	Statischer Aufbau.....	378
7.5.2	Programme	379
7.5.2.1	Script-Files.....	380
7.5.2.2	Function-Files	380
7.5.3	Programmiersprache	381
7.5.3.1	Operatoren	381
7.5.3.2	Matrizen und Vektoren.....	382
7.5.3.3	Schleifen	383
7.5.3.4	Ein- und Ausgabe.....	384
7.5.4	Funktionen zur Signalanalyse.....	384
7.5.4.1	Oszillogramm: PLOT	384
7.5.4.2	Spektrum: FFT.....	385
7.5.5	Signalverarbeitung.....	386
7.5.5.1	Signale.....	386
7.5.5.2	Systeme: Simulation.....	386
7.5.5.3	Systeme: Berechnung.....	387
7.6	Einführung in SIMULINK	388
7.6.1	Statischer Aufbau.....	389
7.6.1.1	Übersicht.....	389
7.6.1.2	Simulink Window.....	391
7.6.1.3	Block Diagram Window	391
7.6.1.4	System Window.....	392
7.6.1.5	Graphik Editor	393
7.6.2	Starten von Simulink Systemen.....	393
7.6.2.1	Matlab Command Window	393
7.6.2.2	Simulink Window.....	394
7.6.2.3	Start der Simulation	394
7.6.3	System-Modellierung	394
7.6.3.1	Block Library.....	394
7.6.3.2	Vorgehensweise	396
7.6.4	Zusammenwirken von Simulink mit Matlab.....	396
7.6.4.1	Function Block Fcn.....	397

7.6.4.2	Matlab Function Block	398
7.6.4.3	S-Function Block.....	398
7.6.4.4	Initialization Command	398
7.6.5	Parameter modellierter Systeme	398
7.6.5.1	Matlab Command Window	399
7.6.5.2	Script File	399
7.6.5.3	Konstante	400
7.6.5.4	Maske.....	400
7.6.6	Systemarten.....	400
7.6.6.1	Simulationsparameter.....	401
7.6.6.2	Digitale Signalverarbeitung.....	402
7.6.6.3	Analoge Signalverarbeitung	403
7.6.6.4	Analoge und digitale Signalverarbeitung	403
7.6.7	Hierarchiebildung.....	404
7.6.7.1	Gruppieren	404
7.6.7.2	Maskieren	405
7.7	Einführung in DSV_SIM	408
7.7.1	Übersicht.....	408
7.7.2	Bedienung.....	410
7.7.3	Virtueller Signalprozessor	414
7.7.3.1	Architektur	414
7.7.3.2	Befehlssatz	417
7.7.3.3	Realisierung.....	419
7.7.3.4	Beispielprogramm.....	420
7.8	Programme und Dateien auf der Diskette	424
7.8.1	Installation von DSV_SIM	424
7.8.2	Installation von Matlab/Simulink-Dateien (DSV_MATL)	425
7.8.3	DSV_SIM-Prozeduren	428
7.8.3.1	Signalverarbeitungsalgorithmen.....	428
7.8.3.2	Signalgeneratoren	430
7.8.3.3	Prozeduren für den virtuellen Signalprozessor.....	431
7.8.3.4	DSV_SIM-Werkbank-Prozeduren für die Übungen des Abschnittes 6.....	431
7.8.4	Simulink-Werkbänke für die Übungen des Abschnittes 6.....	432

7.8.5	Matlab/Simulink-Toolbox DsvCom.....	433
7.8.5.1	Simulink-Bibliothek SIMU_S.M	434
7.8.5.2	DsvCom Script- und Function-Files.....	440
7.9	Lösungen zu den Übungsaufgaben	442
7.9.1	Übung A: Matlab/Simulink	442
7.9.2	Übung B: Filter	454
7.9.3	Übung C: Mischung und Abtastung von Bandpaßsignalen	462
7.9.4	Übung D: Modulation	466
7.9.5	Übung E: Spektralmeßtechnik.....	470
7.9.6	Übung F: Nichtlineare Kennlinie und Schwingungserzeugung	476
	Literaturverzeichnis	481
	Fachaufsätze.....	481
	Bücher.....	484
	Firmenschriften.....	487
	Diplomarbeiten	488
	Sachverzeichnis	491