

2809-6960  
+1CD-Rom

# **MATLAB** in der **Nachrichtentechnik**

Von Univ.-Professor Dr.-Ing. Karl Dirk Kammeyer  
und Dr.-Ing. Volker Kühn

Universität Bremen

Mit 300 Bildern, oftmals mit Teilbildern  
und 40 Tabellen



**J. Schlemmbach Fachverlag**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>I Signale und Übertragungssysteme</b>	<b>1</b>
<b>1 Systemtheoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1 Begriffe und Beziehungen aus der Systemtheorie . . . . .	3
1.1.1 Deterministische Signale . . . . .	3
1.1.2 Stochastische Signale . . . . .	7
1.1.3 Übungen . . . . .	9
1.2 Hilberttransformation . . . . .	23
1.2.1 Eigenschaften . . . . .	23
1.2.2 Übungen . . . . .	25
1.3 Darstellung reeller Bandpaßsignale im äquivalenten Tiefpaßbereich	32
1.3.1 Analytische Signale und Komplexe Einhüllende . . . . .	32
1.3.2 Übungen . . . . .	35
1.4 Äquivalente Tiefpaß-Darstellung stationärer Bandpaß-Rauschprozesse	43
1.4.1 Komplexe Autokorrelationsfunktion, Leistungsdichtespektrum	43
1.4.2 Übungen . . . . .	45
<b>2 Kanalmodellierung</b>	<b>53</b>
2.1 AWGN-Kanal . . . . .	53
2.2 Kanäle mit linearen Verzerrungen . . . . .	55

2.2.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	55
2.2.2	Übungen . . . . .	58
2.3	Mobilfunkkanäle . . . . .	65
2.3.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	65
2.3.2	Übungen . . . . .	69
2.4	Diskrete Kanäle . . . . .	82
2.4.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	82
2.4.2	Übungen . . . . .	86
 <b>II Analoge Modulation</b>		 <b>97</b>
<b>3</b>	<b>Darstellung analoger Modulationsverfahren</b>	<b>99</b>
3.1	Beschreibung im Zeitbereich . . . . .	99
3.1.1	Tiefpaß-Darstellung analoger Kommunikations- systeme . . . . .	99
3.1.2	Definition analoger Modulationsformen . . . . .	101
3.1.3	Übungen . . . . .	104
3.2	Spektraleigenschaften analoger Modulationssignale . . . . .	112
3.2.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	112
3.2.2	Nichtlineare Modulationsformen . . . . .	113
3.2.3	Übungen . . . . .	114
3.3	Demodulation . . . . .	124
3.3.1	Übersicht kohärenter und inkohärenter Demodulationsverfahren . . . . .	124
3.3.2	Übungen . . . . .	126
<b>4</b>	<b>Einflüsse von Übertragungskanälen</b>	<b>135</b>
4.1	Lineare Kanalverzerrungen . . . . .	135
4.1.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	136
4.1.2	Nichtlineare Modulationsformen . . . . .	138
4.1.3	Übungen . . . . .	139
4.2	Additives Rauschen . . . . .	146
4.2.1	Rauschspektren am Empfängereingang . . . . .	147

Inhaltsverzeichnis	XI
4.2.2 Signal-Störverhältnis nach der Demodulation . . . . .	148
4.2.3 Übungen . . . . .	150
<b>III Digitale Übertragung</b>	<b>157</b>
<b>5 Grundelemente der Datenübertragung</b>	<b>159</b>
5.1 Nyquistbedingungen, Impulsformung . . . . .	159
5.1.1 Intersymbolinterferenz . . . . .	162
5.1.2 Spektrum eines Datensignals . . . . .	163
5.1.3 Übungen . . . . .	164
5.2 Einfluß von Rauschen, Matched Filter . . . . .	173
5.2.1 Matched Filter . . . . .	174
5.2.2 Bitfehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	175
5.2.3 Übungen . . . . .	176
5.3 Partial-Response-Übertragung . . . . .	181
5.3.1 Partial-Response-Codierung . . . . .	181
5.3.2 Partial-Response-Vorcodierung . . . . .	182
5.3.3 Übungen . . . . .	185
<b>6 Digitale Modulation</b>	<b>193</b>
6.1 Lineare Modulationsformen . . . . .	193
6.1.1 Offset-QPSK . . . . .	195
6.1.2 Differentielle PSK . . . . .	196
6.1.3 Übungen . . . . .	197
6.2 Continuous-Phase-Modulation . . . . .	203
6.2.1 Frequency Shift Keying (FSK) . . . . .	203
6.2.2 MSK und GMSK . . . . .	204
6.2.3 REC- und RC-Signale . . . . .	205
6.2.4 Übungen . . . . .	206
6.3 Spektraleigenschaften . . . . .	213
6.3.1 Lineare Modulationsformen . . . . .	213
6.3.2 Continuous-Phase-Signale . . . . .	214

6.3.3	Übungen . . . . .	215
6.4	Demodulationsverfahren . . . . .	219
6.4.1	Trägerregelung zur kohärenten Demodulation . . . . .	219
6.4.2	Kohärenter MSK-Demodulator . . . . .	221
6.4.3	Lineares Modell für nichtlineare CPM-Signale . . . . .	222
6.4.4	Inkohärente Demodulation . . . . .	224
6.4.5	Übungen . . . . .	226
6.5	Symbol- und Bitfehlerwahrscheinlichkeiten . . . . .	239
6.5.1	Gray-Codierung, Symbol- und Bitfehler . . . . .	239
6.5.2	AWGN-Kanal . . . . .	241
6.5.3	Schwundkanäle . . . . .	247
6.5.4	Übungen . . . . .	250
<b>7</b>	<b>Entzerrung</b>	<b>259</b>
7.1	Entzerrerstrukturen . . . . .	259
7.1.1	Symboltakt-Entzerrer . . . . .	260
7.1.2	Entzerrer mit Doppelabtastung . . . . .	264
7.1.3	Entzerrer mit quantisierter Rückführung . . . . .	267
7.1.4	Übungen . . . . .	269
7.2	Adaptive Entzerrereinstellung . . . . .	277
7.2.1	LMS-Algorithmus . . . . .	277
7.2.2	Konvergenz des LMS-Algorithmus . . . . .	280
7.2.3	Übungen . . . . .	282
7.3	Maximum-Likelihood-Schätzung von Datenfolgen . . . . .	289
7.3.1	Forney-Empfänger . . . . .	289
7.3.2	Viterbi-Algorithmus . . . . .	292
7.3.3	Fehlerverhalten des Viterbi-Entzerrers . . . . .	297
7.3.4	Übungen . . . . .	300
7.4	Kanalschätzung . . . . .	305
7.4.1	Least-Squares-Lösung . . . . .	305
7.4.2	GSM-Kanalschätzung . . . . .	307
7.4.3	Turbo-Kanalschätzung . . . . .	308

7.4.4	Übungen . . . . .	310
<b>8</b>	<b>Kanalcodierung</b>	<b>313</b>
8.1	Einführung . . . . .	313
8.2	Streifzug durch die Informationstheorie . . . . .	314
8.2.1	Informationsgehalt und Transinformation . . . . .	314
8.2.2	Berechnung der Kanalkapazität . . . . .	316
8.2.3	Übungen . . . . .	321
8.3	Grundlegendes zur Kanalcodierung . . . . .	333
8.3.1	Restklassenarithmetik . . . . .	333
8.3.2	Distanzeigenschaften von Codes . . . . .	337
8.3.3	Decodierprinzipien . . . . .	338
8.3.4	Leistungsfähigkeit von Codes . . . . .	340
8.3.5	Übungen . . . . .	343
8.4	Lineare Blockcodes . . . . .	355
8.4.1	Matrixbeschreibung von Blockcodes . . . . .	355
8.4.2	Nebenklassenzerlegung und Syndromdecodierung . . . . .	358
8.4.3	Beispiele linearer Blockcodes . . . . .	359
8.4.4	Übungen . . . . .	361
8.5	Zyklische Codes . . . . .	366
8.5.1	Beschreibung mit Generatorpolynom . . . . .	366
8.5.2	Beschreibung mit Prüfpolynom . . . . .	368
8.5.3	Bestimmung des Syndroms . . . . .	369
8.5.4	Cyclic Redundancy Check-Codes (CRC-Codes) . . . . .	370
8.5.5	Spektraltransformation auf Galoisfeldern . . . . .	371
8.5.6	Reed-Solomon-Codes . . . . .	373
8.5.7	BCH-Codes . . . . .	374
8.5.8	Decodierung von BCH- und RS-Codes . . . . .	376
8.5.9	Übungen . . . . .	379
8.6	Faltungscodes . . . . .	388
8.6.1	Aufbau des Faltungscodierers . . . . .	388
8.6.2	Graphische Beschreibung von Faltungscodes . . . . .	391

8.6.3	Punktieren von $1/n$ -rätigen Faltungscodes . . . . .	393
8.6.4	Optimale Decodierung mit Viterbi-Algorithmus . . . . .	394
8.6.5	Distanzeigenschaften und Leistungsfähigkeit . . . . .	397
8.6.6	Übungen . . . . .	399
<b>IV</b>	<b>Konzepte zur Mobilfunkübertragung</b>	<b>413</b>
<b>9</b>	<b>Verkettete Codes</b>	<b>415</b>
9.1	Einführung . . . . .	415
9.1.1	Motivation . . . . .	415
9.1.2	Vorbetrachtungen . . . . .	416
9.1.3	<i>Interleaving</i> . . . . .	418
9.1.4	Übungen . . . . .	421
9.2	Serielle Codeverkettung . . . . .	425
9.2.1	Einführung . . . . .	425
9.2.2	Distanzeigenschaften seriell verketteter Codes . . . . .	426
9.2.3	Beispiele seriell verketteter Codes . . . . .	429
9.2.4	Übungen . . . . .	432
9.3	Parallele Codeverkettung (Turbo-Codes) . . . . .	443
9.3.1	Einführung . . . . .	443
9.3.2	Distanzeigenschaften parallel verketteter Codes . . . . .	444
9.3.3	Beispiele parallel verketteter Codes . . . . .	444
9.3.4	Übungen . . . . .	448
9.4	Decodierung verketteter Codes . . . . .	455
9.4.1	Zuverlässigkeitsinformation und $L$ -Algebra . . . . .	456
9.4.2	Allgemeiner Ansatz zur <i>Soft-Output</i> -Decodierung . . . . .	458
9.4.3	BCJR-Algorithmus am Beispiel von Faltungscodes . . . . .	462
9.4.4	Iterative Decodierung verketteter Codes . . . . .	467
9.4.5	Übungen . . . . .	469
<b>10</b>	<b>Das Mehrträgerverfahren OFDM</b>	<b>485</b>
10.1	Einführung . . . . .	485

Inhaltsverzeichnis	XV
10.2 Grundprinzip des OFDM-Verfahrens . . . . .	486
10.2.1 Herleitung der DFT-Struktur . . . . .	486
10.2.2 Das Guardintervall . . . . .	488
10.2.3 Übergang auf den analogen Kanal . . . . .	491
10.2.4 Übungen . . . . .	492
10.3 OFDM-Kanalschätzung . . . . .	499
10.3.1 Rauschreduktionsalgorithmus . . . . .	499
10.3.2 Vorentzerrer zur Kompression der Impulsantwort . . . . .	501
10.3.3 Übungen . . . . .	502
<b>11 Codemultiplex</b>	<b>509</b>
11.1 Einführung . . . . .	509
11.2 Grundlagen . . . . .	510
11.2.1 Prinzip der spektralen Spreizung . . . . .	510
11.2.2 Spreizungssequenzen . . . . .	513
11.2.3 Übungen . . . . .	516
11.3 CDMA für frequenzselektive Kanäle . . . . .	526
11.3.1 SC-CDMA . . . . .	526
11.3.2 OFDM-CDMA . . . . .	529
11.3.3 Übungen . . . . .	532
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>543</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>553</b>