

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Signale und Übertragungssysteme</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Systemtheoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1	Klassifikationen von Signalen . . . . .	4
1.2	Fourier-Transformation . . . . .	7
1.2.1	Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften . . . . .	7
1.2.2	Symmetrie der Spektren reeller Zeitsignale . . . . .	10
1.3	Hilbert-Transformation . . . . .	11
1.3.1	Definition und Eigenschaften . . . . .	11
1.3.2	Hilbert-Transformatoren für Bandpass-Signale . . . . .	14
1.3.3	Analytische Signale . . . . .	16
1.4	Äquivalente Tiefpass-Darstellung von Bandpass-Signalen und -Systemen . . . . .	18
1.4.1	Tiefpass-Darstellung von Bandpass-Signalen . . . . .	18
1.4.2	Strukturen von Quadratmischern . . . . .	20
1.4.3	Basisband-Darstellung von Bandpass-Übertragungssystemen . . . . .	21
1.5	Empfängerstrukturen . . . . .	24
1.5.1	Prinzip des Frequenzmultiplex . . . . .	24
1.5.2	Geradeaus-Empfänger . . . . .	25
1.5.3	Superheterodyn-Prinzip . . . . .	27
1.5.4	Direktmischende Strukturen . . . . .	29
1.6	Rauschsignale . . . . .	30
1.6.1	Beschreibung von stochastischen Prozessen . . . . .	30
1.6.2	Äquivalente Basisbanddarstellung stationärer Bandpass-Rauschprozesse . . . . .	35
1.6.3	Die Autokorrelationsmatrix . . . . .	40
1.6.4	Wiener-Filter . . . . .	41
	Literaturverzeichnis . . . . .	44
<b>2</b>	<b>Eigenschaften von Übertragungskanälen</b>	<b>45</b>
2.1	Approximation idealisierter Übertragungskanäle . . . . .	46
2.1.1	Der ideale Tiefpass . . . . .	46
2.1.2	Die erste Nyquist Bedingung . . . . .	47
2.1.3	Filter mit Kosinus-roll-off-Flanke . . . . .	51
2.2	Zeitdauer-Bandbreite-Produkt . . . . .	53
2.3	Eigenschaften realer Kanäle . . . . .	57

2.3.1	Lineare Verzerrungen . . . . .	57
2.3.2	Nichtlineare Verzerrungen . . . . .	60
2.3.3	Frequenzverwerfung als Beispiel für einen zeitvarianten Kanal . . .	64
2.3.4	Additive Störungen . . . . .	65
2.4	Der Funkkanal . . . . .	70
2.4.1	Zeitinvariante Mehrwegekanäle . . . . .	70
2.4.2	Mobilfunkkanal . . . . .	75
	Literaturverzeichnis . . . . .	84
<b>II</b>	<b>Analoge Übertragung</b>	<b>87</b>
<b>3</b>	<b>Analoge Modulationsverfahren</b>	<b>89</b>
3.1	Definitionen analoger Modulationsformen . . . . .	90
3.1.1	Amplitudenmodulation . . . . .	90
3.1.2	Winkelmodulation . . . . .	91
3.1.3	Einseitenbandmodulation . . . . .	94
3.1.4	Übersicht . . . . .	95
3.2	Spektraleigenschaften . . . . .	96
3.2.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	96
3.2.2	Winkelmodulation . . . . .	101
3.3	Äquivalente Tiefpassdarstellung von Modulationssignalen . . . . .	108
3.3.1	Eigenschaften . . . . .	108
3.3.2	Demodulationsvorschriften . . . . .	112
3.3.3	Komplexe Sender- und Empfängerstrukturen . . . . .	117
3.4	Praktische Systeme zur Demodulation . . . . .	123
3.4.1	Einhüllenden-Demodulation von AM-Signalen . . . . .	123
3.4.2	FM-Demodulation mit Amplitudenbegrenzung . . . . .	124
3.4.3	Digitale FM-Demodulation . . . . .	127
	Literaturverzeichnis . . . . .	129
<b>4</b>	<b>Einflüsse realer Übertragungskanäle</b>	<b>131</b>
4.1	Kanalverzerrungen bei linearen Modulationsverfahren . . . . .	132
4.1.1	Kohärente AM-Demodulation . . . . .	133
4.1.2	Einhüllenden-Demodulation . . . . .	134
4.1.3	Einseitenband-Demodulation . . . . .	135
4.2	Lineare Kanalverzerrungen bei Winkelmodulation . . . . .	135
4.2.1	Quasistationäres Modell . . . . .	137
4.2.2	Numerische Lösung für sinusförmige Modulation . . . . .	141
4.2.3	Konstant-Modulus-Algorithmus (CMA) zur Entzerrung winkelmodulierter Signale . . . . .	144
4.3	Störungen durch additives Rauschen . . . . .	147
4.3.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	147
4.3.2	Frequenzmodulation . . . . .	153
	Literaturverzeichnis . . . . .	157
<b>5</b>	<b>UKW-Rundfunk: Systembeispiel für analoge Modulation</b>	<b>159</b>
5.1	Frequenzbänder für den Hörrundfunk und Fernsehen . . . . .	160

5.1.1	Analoger Hörrundfunk . . . . .	160
5.1.2	Analoges Fernsehen . . . . .	161
5.2	UKW-Rundfunksystem . . . . .	162
5.2.1	Preemphase und Deemphase . . . . .	162
5.2.2	Stereophonie . . . . .	163
5.2.3	Verkehrsfunk, RDS . . . . .	165
<b>III</b>	<b>Digitale Übertragung</b>	<b>167</b>
<b>6</b>	<b>Diskretisierung analoger Quellensignale</b>	<b>169</b>
6.1	Zeitdiskrete, amplitudenkontinuierliche Darstellung . . . . .	170
6.1.1	Pulsamplitudenmodulation . . . . .	170
6.1.2	Pulsdauer-, Pulsphasenmodulation . . . . .	175
6.2	Zeit- und amplitudendiskrete Darstellung: Pulscodemodulation . . . . .	177
6.2.1	Lineare Quantisierung . . . . .	177
6.2.2	Nichtlineare Quantisierung . . . . .	180
6.3	Differentielle Pulscodemodulation . . . . .	182
6.3.1	Grundprinzip . . . . .	182
6.3.2	Lineare Prädiktion . . . . .	183
6.3.3	Vorwärts- und Rückwärtsprädiktion . . . . .	188
6.3.4	LPC-Sprachcoder . . . . .	190
6.4	Deltamodulation . . . . .	194
6.4.1	Grundprinzip . . . . .	194
6.4.2	Sigma-Delta-Modulation . . . . .	196
	Literaturverzeichnis . . . . .	199
<b>7</b>	<b>Grundlagen der digitalen Datenübertragung</b>	<b>201</b>
7.1	Prinzip der digitalen Übertragung . . . . .	202
7.1.1	Grundstruktur eines Datenübertragungssystems . . . . .	202
7.1.2	Spektrum eines Datensignals . . . . .	203
7.1.3	Intersymbol-Interferenz - Die erste Nyquistbedingung . . . . .	206
7.1.4	Augendiagramm - Die zweite Nyquistbedingung . . . . .	211
7.2	Anpassung an den analogen Kanal . . . . .	214
7.2.1	Leitungscode . . . . .	214
7.2.2	Partial-Response-Codierung . . . . .	217
7.2.3	Partial-Response-Vorcodierung . . . . .	225
7.3	Symboltakt-Synchronisation . . . . .	229
7.3.1	Leistungsdichtespektrum eines quadrierten Datensignals . . . . .	229
7.3.2	Taktrückgewinnung durch Gleichrichtung des Datensignals . . . . .	233
7.3.3	Gardner-Taktregelung . . . . .	234
7.3.4	Entscheidungsrückgekoppelte Taktregelung . . . . .	237
7.4	Übertragung unter Rauscheinfluss . . . . .	241
7.4.1	Rauschangepasste Empfangsfilter (Matched-Filter) . . . . .	241
7.4.2	Bitfehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	247
7.4.3	Signal-Störverhältnis bei PCM-Übertragung . . . . .	253
7.5	Systembeispiel: PCM-Übertragung im Fernsprechnet . . . . .	255

7.5.1	Prinzip des Zeitmultiplex . . . . .	255
7.5.2	Fernsprech-PCM-Hierarchie . . . . .	257
	Literaturverzeichnis . . . . .	258
<b>8</b>	<b>Digitale Modulation</b>	<b>259</b>
8.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	260
8.1.1	Beschreibung im Signalraum . . . . .	260
8.1.2	Digitale Modulation mit Nyquist-Impulsformung . . . . .	264
8.1.3	Offset-PSK . . . . .	266
8.1.4	Differentielle PSK-Modulation (DPSK) . . . . .	267
8.1.5	Klassifikation digitaler Modulationssignale . . . . .	269
8.2	Nichtlineare Modulationsformen . . . . .	272
8.2.1	Diskrete Frequenzmodulation (FSK) . . . . .	272
8.2.2	Minimum Shift Keying (MSK) . . . . .	276
8.2.3	Gaußsches Minimum Shift Keying (GMSK) . . . . .	279
8.2.4	Continuous-Phase-Modulation (CPM) . . . . .	281
8.3	Spektraleigenschaften . . . . .	283
8.3.1	Lineare Modulationsformen . . . . .	283
8.3.2	Spektren orthogonaler FSK-Signale . . . . .	286
8.3.3	Numerisches Berechnungsverfahren zur Spektralanalyse beliebiger CPM-Formen . . . . .	288
8.3.4	Vergleich der Spektren verschiedener Modulationssignale . . . . .	292
	Literaturverzeichnis . . . . .	296
<b>9</b>	<b>Prinzipien der Demodulation</b>	<b>297</b>
9.1	Kohärente Demodulation . . . . .	298
9.1.1	Grundstrukturen kohärenter Empfänger für lineare Modulationsformen . . . . .	298
9.1.2	Kohärente Demodulation von MSK- Signalen . . . . .	300
9.1.3	Näherungsweise Beschreibung von CPM-Signalen durch lineare Modulationsformen . . . . .	302
9.1.4	Kohärente Demodulation von CPM-Signalen . . . . .	306
9.2	Inkohärente Demodulation . . . . .	308
9.2.1	Begriffsklärung . . . . .	308
9.2.2	Inkohärente Demodulation von DPSK-Signalen . . . . .	310
9.2.3	Inkohärente Demodulation von DAPSK-Signalen . . . . .	313
9.2.4	Differentieller Demodulator für CPM-Signale . . . . .	314
9.2.5	Diskriminator-Demodulator für CPM-Signale . . . . .	317
9.3	Trägerregelung . . . . .	319
9.3.1	Trägerregelung im Bandpass-Bereich . . . . .	319
9.3.2	Entscheidungsrückgekoppelte Trägerregelung im Basisband . . . . .	323
9.3.3	Linearisiertes Modell für den Phasenregelkreis . . . . .	325
9.3.4	Statischer Phasenfehler infolge Frequenzverwerfung . . . . .	327
9.3.5	Phasenjitter . . . . .	328
9.3.6	Phasenrauschen . . . . .	330
	Literaturverzeichnis . . . . .	332

<b>10 Übertragung über AGN-Kanäle</b>	<b>333</b>
10.1 Optimaler Empfänger für gaußsche Störungen . . . . .	334
10.2 Spezialfall weißer Rauschstörungen (AWGN-Kanal) . . . . .	337
10.2.1 Korrelationsempfänger . . . . .	337
10.2.2 Matched-Filter-Empfänger . . . . .	338
10.3 Störung durch farbiges Rauschen . . . . .	341
10.3.1 Korrelationsempfänger für farbiges Rauschen . . . . .	341
10.3.2 Matched-Filter für farbiges Rauschen . . . . .	343
10.4 Fehlerwahrscheinlichkeit für AWGN-Kanäle . . . . .	346
10.4.1 Signal- und Störleistungsbeziehungen im äquivalenten Tiefpassbereich . . . . .	346
10.4.2 Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei zweistufigen Signalformen . . . . .	349
10.4.3 Bit-Zuordnung bei höherstufigen Modulationsverfahren . . . . .	351
10.4.4 Bit- und Symbolfehlerwahrscheinlichkeit für QPSK . . . . .	354
10.4.5 Näherungslösung für höherstufige PSK-Übertragung . . . . .	356
10.4.6 Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM) . . . . .	362
10.4.7 Einfluss eines statischen Phasenfehlers . . . . .	364
10.4.8 Inkohärente DPSK-Demodulation . . . . .	365
10.4.9 Fehlerwahrscheinlichkeiten für MSK und GMSK . . . . .	367
Literaturverzeichnis . . . . .	371
<b>11 Entzerrung</b>	<b>373</b>
11.1 Grundstrukturen von Entzerrern . . . . .	374
11.1.1 Matched-Filter-Empfänger mit Entzerrung . . . . .	374
11.1.2 Bandpass- und Basisbandentzerrung . . . . .	376
11.1.3 Inverse Systeme . . . . .	378
11.1.4 Least-Squares-Lösungen für inverse Systeme . . . . .	384
11.2 Lineare Entzerrung mit nichtrekursiven Systemen . . . . .	387
11.2.1 Bedingungen zur perfekten Entzerrung . . . . .	387
11.2.2 Symboltaktentzerrer . . . . .	390
11.2.3 Entzerrer mit Doppelabtastung . . . . .	392
11.2.4 Beschreibung der Entzerrerlösungen durch die Pseudoinverse . . . . .	396
11.2.5 Minimum-Mean-Square-Error-Lösung (MMSE) für lineare Entzerrer	397
11.2.6 Beispiele zur linearen Entzerrung . . . . .	402
11.2.7 Einfluss des Abtastzeitpunktes auf die Entzerrung . . . . .	403
11.3 Nichtlineare Entzerrerstrukturen . . . . .	406
11.3.1 Quantisierte Rückführung (Decision Feedback) . . . . .	406
11.3.2 MMSE-Lösung für Entzerrer mit quantisierter Rückführung . . . . .	408
11.3.3 Beispiel: MMSE-Entwurf für lineare und nichtlineare Entzerrung . . . . .	411
11.3.4 Tomlinson-Harashima-Vorcodierung . . . . .	413
11.4 Adaptive Entzerrereinstellung . . . . .	416
11.4.1 Least-Mean-Squares-Algorithmus (LMS) . . . . .	418
11.4.2 Konvergenz des LMS-Algorithmus . . . . .	421
11.4.3 Rekursiver Least-Squares-Algorithmus (RLS) . . . . .	426
11.5 Lattice-Entzerrer . . . . .	429

11.5.1	Lattice-Prädiktor zur Dekorrelation . . . . .	429
11.5.2	Struktur des Lattice-Entzerrers . . . . .	433
11.5.3	Lattice-Gradientenverfahren . . . . .	438
11.5.4	Konvergenzvergleich der Adaptionalgorithmen . . . . .	442
11.6	Entzerrung unter additivem Kanalrauschen . . . . .	445
11.6.1	Einfluss von Rauschen auf die MMSE-Lösung . . . . .	445
11.6.2	S/N-Verlust infolge der Entzerrung . . . . .	447
11.6.3	Fehlerwahrscheinlichkeit unter Entzerrer-Einfluss . . . . .	450
11.6.4	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Tomlinson-Harashima-Vorcodierung . . . . .	455
	Literaturverzeichnis . . . . .	457
<b>12</b>	<b>Maximum-Likelihood-Schätzung von Datenfolgen</b>	<b>459</b>
12.1	Maximum-Likelihood-Schätzung . . . . .	460
12.1.1	Grundstruktur des optimalen Empfängers . . . . .	460
12.1.2	Optimaler Empfänger mit Dekorrelationsfilter (Forney-Empfänger) . . . . .	462
12.2	Viterbi-Algorithmus . . . . .	466
12.2.1	Viterbi-Detektion endlicher Datenfolgen . . . . .	466
12.2.2	Detektion unbegrenzter Datenfolgen . . . . .	473
12.3	Einfluss von additivem Kanalrauschen . . . . .	475
12.3.1	Fehlerwahrscheinlichkeit bei Viterbi-Detektion . . . . .	475
12.3.2	S/N-Verlustfaktor . . . . .	482
12.3.3	Ungünstigste Kanäle 1. und 2. Ordnung . . . . .	483
12.4	Vorentzerrer zur Verkürzung der Kanalimpulsantwort . . . . .	488
	Literaturverzeichnis . . . . .	493
<b>13</b>	<b>Kanalschätzung</b>	<b>495</b>
13.1	Referenzsignal-gestützte Kanalschätzung . . . . .	496
13.1.1	Geschlossene Lösung nach Wiener-Lee . . . . .	496
13.1.2	LMS-Kanalschätzung . . . . .	497
13.1.3	Maximum-Likelihood-Kanalschätzung . . . . .	499
13.1.4	Maximum-a-posteriori-Schätzung . . . . .	501
13.1.5	Orthogonale Folgen . . . . .	505
13.1.6	Systembeispiel: GSM-Kanalschätzung . . . . .	508
13.2	Blinde Kanalschätzung . . . . .	514
13.2.1	Prinzipielle Ansätze . . . . .	514
13.2.2	SOCS-Algorithmen . . . . .	517
	Literaturverzeichnis . . . . .	521
<b>IV</b>	<b>Mobilfunk-Kommunikation</b>	<b>525</b>
<b>14</b>	<b>Übertragung über Funkkanäle</b>	<b>527</b>
14.1	Standards zur Mobilfunk-Übertragung . . . . .	528
14.2	Übertragung über nicht frequenzselektive Rayleigh-Kanäle . . . . .	531
14.2.1	Ergodische Fehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	531
14.2.2	Ausfall-Wahrscheinlichkeit . . . . .	535
14.3	Diversität . . . . .	536

14.3.1	Kanalmodell und Empfängerstrukturen . . . . .	536
14.3.2	Ergodische Bitfehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	541
14.4	Entzerrung von frequenzselektiven Schwundkanälen . . . . .	546
	Literaturverzeichnis . . . . .	547
<b>15</b>	<b>Mehrträger-Modulation</b>	<b>549</b>
15.1	Grundprinzip der Mehrträger-Übertragung . . . . .	550
15.1.1	Struktur eines Mehrträgersystems . . . . .	550
15.1.2	Das OFDM-Konzept . . . . .	554
15.2	Entzerrung . . . . .	557
15.2.1	Das Guardintervall . . . . .	557
15.2.2	Entzerrung im Frequenzbereich . . . . .	562
15.2.3	Vorentzerrer zur Impulsverkürzung . . . . .	564
15.2.4	Einträger-Frequenzbereichs-Entzerrer . . . . .	566
15.3	OFDM-Kanalschätzung . . . . .	570
15.3.1	Kohärente und inkohärente Empfängerstrukturen . . . . .	570
15.3.2	OFDM-Kanalschätzung mit Hilfe einer Präambel . . . . .	572
15.3.3	OFDM-Kanalschätzung in Zeit- und Frequenzrichtung . . . . .	577
15.4	Übergang auf den analogen Kanal . . . . .	583
15.4.1	Spektralformung des Sendesignals . . . . .	583
15.4.2	Außerbandstrahlung infolge nichtlinearer Verzerrungen . . . . .	584
15.4.3	Verfahren zur Spitzenwertreduktion . . . . .	587
15.5	Mehrträger-Systeme mit weicher Impulsformung . . . . .	590
15.5.1	Intersymbol- und Intercarrier-Interferenz . . . . .	590
15.5.2	Orthogonales Verfahren mit Offset-QAM . . . . .	594
15.5.3	Nichtorthogonale Systeme mit minimalem Zeit-Bandbreiteprodukt	595
15.6	Drei Beispiele zur OFDM-Übertragung . . . . .	598
15.6.1	Die WLAN-Systeme IEEE 802.11a und HIPERLAN/2 . . . . .	598
15.6.2	DAB und DVB-T . . . . .	602
15.6.3	Long Term Evolution (LTE) . . . . .	605
	Literaturverzeichnis . . . . .	607
<b>16</b>	<b>Codemultiplex-Übertragung</b>	<b>611</b>
16.1	Grundprinzip des Codemultiplex . . . . .	613
16.2	Spreizsequenzen . . . . .	618
16.2.1	Pseudo-Zufallsfolgen . . . . .	619
16.2.2	Walsh-Codes . . . . .	625
16.3	CDMA-Empfangsmodelle . . . . .	629
16.3.1	Nicht-frequenzselektiver Kanal: Zeitdiskrete (a)synchrone Emp- fangsmodelle . . . . .	630
16.3.2	Frequenzselektiver Kanal: Blockweises, zeitdiskretes (a)synchrones Empfangsmodell . . . . .	633
16.4	Einnutzer-Detektion . . . . .	636
16.4.1	Korrelationsempfänger (Single-User Matched-Filter) . . . . .	636
16.4.2	Rake-Empfänger . . . . .	641
16.4.3	Inkohärenter Rake-Empfänger . . . . .	648

16.4.4	Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei Einnutzer-Übertragung . . . . .	649
16.4.5	Mehrnutzer-Interferenz . . . . .	651
16.5	Mehrnutzer-Detektion . . . . .	658
16.5.1	Einleitung . . . . .	658
16.5.2	Lineare Empfänger für eine Mehrnutzer-Detektion . . . . .	659
16.5.3	Matched-Filter . . . . .	665
16.5.4	Zero-Forcing- / Least Squares-Empfänger . . . . .	668
16.5.5	Minimum Mean-Square Error (MMSE)-Empfänger . . . . .	671
16.6	Leistungsregelung . . . . .	682
16.6.1	Standard-Interferenzfunktion und Standard-Leistungsregelung . .	684
16.6.2	Auf maximale Leistungen begrenzte Leistungsregelung . . . . .	690
16.6.3	Gemeinsame Leistungsregelung und Linear Minimum Mean Square Error (LMMSE) Interferenzunterdrückung . . . . .	692
16.7	Weitere Aspekte von CDMA . . . . .	699
16.8	Mehrträger-CDMA . . . . .	702
16.8.1	Prinzip des MC-CDMA . . . . .	702
16.8.2	Vergleich mit Einträger-CDMA . . . . .	706
16.9	UMTS: Beispiel eines CDMA Mobilfunksystems . . . . .	709
	Literaturverzeichnis . . . . .	714
<b>17</b>	<b>Mehrantennen-Systeme</b>	<b>719</b>
17.1	Kanäle mit mehreren Ein- und Ausgängen (MIMO) . . . . .	720
17.1.1	Zielsetzung . . . . .	720
17.1.2	Systemmodell . . . . .	721
17.1.3	Eigenmoden eines MIMO-Übertragungssystems . . . . .	723
17.1.4	Korrelationsmatrizen von MIMO-Systemen . . . . .	726
17.1.5	Kanalkapazität des MIMO-Kanals . . . . .	727
17.2	Mehrantennen-Konzepte zur Verbesserung der Übertragungssicherheit . .	732
17.2.1	SIMO-Systeme: Maximum Ratio Combining am Empfänger . . . .	732
17.2.2	MISO-Systeme mit Kanalkennntnis am Sender: Beamforming . . . .	733
17.2.3	MISO-Systeme ohne Kanalkennntnis am Sender: Space-Time-Codes . . . . .	737
17.3	Erhöhung der Übertragungsrates durch Raum-Multiplex . . . . .	747
17.3.1	Multi-Layer-Übertragung bei Kanalkennntnis am Sender . . . . .	747
17.3.2	Multi-Layer-Konzepte ohne Kanalkennntnis am Sender . . . . .	752
17.3.3	Detektionsverfahren . . . . .	753
17.3.4	Messergebnisse . . . . .	757
17.4	Mehrnutzer-Szenarien . . . . .	760
17.4.1	Uplink . . . . .	761
17.4.2	Downlink . . . . .	761
	Literaturverzeichnis . . . . .	763
<b>18</b>	<b>Compressive Sensing</b>	<b>767</b>
18.1	Definitionen und sparses Systemmodell . . . . .	769
18.2	Rekonstruktionskriterien . . . . .	775
18.2.1	Nullraum-Bedingung . . . . .	775



18.2.2	Restricted Isometry Property (RIP)	776
18.2.3	Kohärenz	780
18.2.4	Anzahl der Beobachtungen $m$	781
18.2.5	Sensing-Matrizen	782
18.3	Rekonstruktionsgüte	783
18.3.1	$C$ -Robustheit	784
18.3.2	Rekonstruktionsfehler	786
18.4	Compressive Sensing Algorithmen	790
18.4.1	$l_1$ -Optimierung	790
18.4.2	Greedy-Methoden	797
18.4.3	Iterative Hard Thresholding-Methoden	800
18.4.4	Leistungsfähigkeit von Compressive Sensing Algorithmen	801
18.4.5	Block-/Gruppen-sparse Algorithmen	802
18.5	CS-basierte Kanalschätzung	807
18.5.1	CS-basierte Kanalschätzung für eine OFDM-Übertragung	807
18.5.2	CS-basierte Kanalschätzung für eine Einträgerübertragung	812
18.6	Compressive Sensing Mehrnutzerdetektion	813
18.6.1	Sporadische Datenübertragung kurzzeitig aktiver Nutzer	815
18.6.2	Block-Correlation Successive Interference Cancellation - ein Beispiel einer Greedy-basierten CS-MUD mit Kanaldecodierung	819
18.6.3	Maximum a-posteriori (MAP)-CS-Detektion	824
	Literaturverzeichnis	829
<b>Anhang A-H</b>		<b>835</b>
<b>A Korrespondenzen zur Fourier- und Hilberttransformation</b>		<b>835</b>
A.1	Fouriertransformation	835
A.2	Hilberttransformation	837
<b>B Auszüge aus der Linearen Algebra</b>		<b>839</b>
B.1	Übersicht über wichtige Beziehungen	839
B.1.1	Nomenklatur und Definitionen	839
B.1.2	Addition, Multiplikation, elementare Eigenschaften	843
B.1.3	Determinanten	844
B.1.4	Inverse einer Matrix	846
B.1.5	Unitäre Matrizen	846
B.1.6	Eigenwerte und Eigenvektoren	847
B.1.7	Singulärwertzerlegung	849
B.1.8	Pseudoinverse	850
B.1.9	Weitere Matrix-Zerlegungen	851
B.1.10	Zufallsvariablen/-vektoren/-matrizen	853
B.1.11	Ableitung nach Vektoren	854
B.2	Vektorielle Darstellung von Signalen	855
B.2.1	Beschreibung der Faltung als Skalarprodukt	855
B.2.2	Die Faltungsmatrix	856
<b>C Zeitdiskrete Simulationsmodelle</b>		<b>859</b>

C.1	Übergang von einem zeitkontinuierlichen auf einen zeitdiskreten Rauschprozess . . . . .	859
C.2	Das Störabstandsmaß $E_S/N_0$ . . . . .	861
C.2.1	Reelle Tiefpass-Übertragung . . . . .	861
C.2.2	Modulierte Übertragung im äquivalenten Tiefpassbereich . . . . .	863
C.2.3	Symboltaktmodell eines Übertragungssystems . . . . .	865
C.3	Erzeugung einer Gaußverteilung aus einem gleichverteilten Prozess . . . . .	868
<b>D</b>	<b>Beschreibung gaußverteilter Rauschprozesse</b>	<b>871</b>
D.1	Diskrete Karhunen-Loève Transformation . . . . .	871
D.2	Verbunddichte eines farbigen Gauß-Prozesses . . . . .	873
<b>E</b>	<b>Ableitungen zum Lattice-Entzerrer</b>	<b>875</b>
E.1	Levinson-Durbin-Rekursion . . . . .	875
E.2	Orthogonalität der Rückwärts-Prädiktionsfehler . . . . .	878
E.3	Herleitungen zum Lattice-Gradientenalgorithmus . . . . .	880
<b>F</b>	<b>Ergänzung zur Maximum-Likelihood-Schätzung</b>	<b>883</b>
F.1	Faltungsmatrizen . . . . .	883
F.2	Dekorrelationsfilter . . . . .	885
<b>G</b>	<b>Bedingungen für die ideale Kanalentzerrung mit Hilfe von T/2-Entzerrern</b>	<b>889</b>
G.1	Herleitung der Singularitäts-Bedingungen . . . . .	889
G.2	Beispiele . . . . .	892
<b>H</b>	<b>Matrix-Inversionslemma</b>	<b>897</b>
H.1	Allgemeine Herleitung . . . . .	897
H.2	Spezielle Form im RLS-Algorithmus . . . . .	898
	Literaturverzeichnis . . . . .	899
	<b>Abkürzungen</b>	<b>901</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>907</b>



<http://www.springer.com/978-3-658-17004-2>

Nachrichtenübertragung

Kammeyer, K.-D.; Dekorsy, A.

2018, XVIII, 923 S. 484 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-17004-2