

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was ist Nachrichtentechnik und was Informationstheorie?	1
1.2	Zum Aufbau des Buches	3
1.3	Anmerkungen	4
1.4	Literaturverzeichnis	5
2	Geschichte der Nachrichtentechnik	7
2.1	Meilensteine der Nachrichtentechnik	7
2.1.1	Telegraph	8
2.1.2	Telefon	10
2.1.3	Funk	11
2.1.4	Fernsehen	12
2.1.5	Internet und WLAN	12
2.1.6	Mobilfunk	13
2.1.7	Speichermedien	13
2.2	Shannons Informationstheorie	13
2.3	Vorteile der digitalen Kommunikation	15
2.4	Übersicht der Geschichte	16
2.5	Anmerkungen	18
2.6	Literaturverzeichnis	18
3	Modelle und Inhalte in der Nachrichtentechnik	19
3.1	Inhalte von Kommunikation und Speicherung	19
3.2	Das Modell der Informationstheorie	23
3.3	Modell der Signaltheorie	24
3.4	OSI-Modell der ISO	25
3.5	Kommunikationsnetzwerk-Modell	30
3.6	Kryptologisches Modell	31
3.7	Anmerkungen	31
3.8	Literaturverzeichnis	32

4	Quellen und Quellencodierung	33
4.1	Einführendes Beispiel	33
4.2	Quellencodiertheorem	34
4.2.1	Shannonsche Unsicherheit, Entropie	38
4.2.2	Shannons Quellencodiertheorem	45
4.3	Codierung von diskreten gedächtnislosen Quellen	50
4.4	Prinzipien verlustbehafteter Quellencodierung	59
4.4.1	Abtastung und gleichmäßige Quantisierung	60
4.4.2	Nichtgleichmäßige Quantisierung	61
4.4.3	Lineare Prädiktion	63
4.4.4	Codierung von Bildern und Filmen	65
4.5	Anmerkungen	69
4.6	Literaturverzeichnis	69
4.7	Übungsaufgaben	70
5	Signale, Systeme und Modulationsverfahren	77
5.1	Signale und Systeme	78
5.2	Signalrepräsentation und Abtastung	85
5.2.1	Hilbert-Transformation	85
5.2.2	Das Abtasttheorem	87
5.2.3	Fourier- und Shannon Bandbreite	93
5.2.4	Compressed Sensing	96
5.3	Leitungscode	100
5.4	Binäre Modulationsverfahren	104
5.4.1	Tiefpass-Bandpass-Transformation	104
5.4.2	Spezielle binäre Verfahren	104
5.5	Mehrwertige Digitale Modulationsverfahren	108
5.5.1	Amplitude Shift Keying (ASK)	108
5.5.2	Phase Shift Keying (PSK)	109
5.5.3	Frequency Shift Keying (FSK)	109
5.5.4	Quadrature Amplitude Modulation (QAM)	110
5.6	Analoge Signale und deren Modulation	111
5.6.1	Amplitudenmodulation (AM)	111
5.6.2	Frequenzmodulation (FM)	112
5.7	Anmerkungen	113
5.8	Literaturverzeichnis	115
5.9	Übungsaufgaben	116

6	Übertragungskanäle	121
6.1	Kanäle aus Sicht der Informationstheorie	122
6.1.1	Gedächtnisloser Kanal (DMC)	122
6.1.2	Wechselseitige Information	123
6.1.3	Kanalkapazität	128
6.2	Diskrete Kanalmodelle	129
6.2.1	Symmetrischer Binärkanal (BSC)	129
6.2.2	Binärer Auslöschungskanal (BEC)	130
6.2.3	Multi-Ausgangs Kanal	131
6.3	Gauß-Kanal	132
6.4	Rayleigh Kanal	136
6.5	Mobilfunkkanal	137
6.6	Kanalschätzung	138
6.7	Anmerkungen	141
6.8	Literaturverzeichnis	142
6.9	Übungsaufgaben	142
7	Entscheidungstheorie	147
7.1	Entscheidungsregeln der Informationstheorie	148
7.1.1	Maximum a-posteriori Entscheider	148
7.1.2	Maximum-Likelihood Entscheider	149
7.1.3	Neyman–Pearson Theorem	150
7.1.4	Fehlerwahrscheinlichkeit der Entscheidung	151
7.1.5	Zuverlässigkeit der Entscheidung und L-Werte	152
7.1.6	Vektoren von Zufallsvariablen	153
7.1.7	Schätztheorie und Minimum Mean Square Error, MMSE	155
7.2	Korrelation und Matched Filter	156
7.2.1	Erstes Nyquist-Kriterium	157
7.2.2	Augendiagramm	158
7.2.3	Euklidische Distanz	161
7.3	Berechnung von Fehlerwahrscheinlichkeiten	162
7.3.1	BER bei bipolarer Übertragung	162
7.3.2	BER und SER für M -ASK, M -PSK und M -QAM	164
7.4	Übersicht der Fehlerwahrscheinlichkeiten	168
7.5	Anmerkungen	169
7.6	Literaturverzeichnis	171
7.7	Übungsaufgaben	171

8	Kanalcodierung	177
8.1	Redundanz und Cyclic Redundancy Check	177
8.2	Lineare Blockcodes	180
8.2.1	Hamming-Metrik	180
8.2.2	Parameter linearer Blockcodes	182
8.2.3	Generator- und Prüfmatrix	183
8.2.4	Wiederholungs-Codes und Parity-Check-Codes	185
8.2.5	Hamming-Codes	186
8.2.6	Systematische Codierung und zyklische Codes	187
8.2.7	Dualer Code	188
8.2.8	Decodierung und Entscheidungstheorie	189
8.2.9	Decodierfehlerwahrscheinlichkeit	193
8.3	Shannons Kanalcodiertheorem	197
8.3.1	Asymptotische Beschreibung des Fehlervektors	198
8.3.2	Abschätzung einer Summe von Binomialkoeffizienten	199
8.3.3	Random-Codes	201
8.3.4	Beweis des Kanalcodiertheorems	201
8.4	Reed-Muller-Codes	203
8.4.1	Plotkin-Konstruktion	203
8.4.2	Hard-Decision-Decodierung von $(\mathbf{u} \mathbf{u} + \mathbf{v})$	205
8.4.3	Reed-Muller-Codes durch Plotkin-Konstruktion	206
8.4.4	Eigenschaften von RM-Codes	210
8.4.5	Walsh-Hadamard-Sequenzen und Simplex-Code	211
8.4.6	Soft-Decision-Decodierung von RM-Codes	213
8.5	Faltungscodes	214
8.5.1	Faltungscodierer	214
8.5.2	Trellis	215
8.5.3	Viterbi-Algorithmus	217
8.6	Anmerkungen	220
8.7	Literaturverzeichnis	221
8.8	Übungsaufgaben	221
9	Elementare Protokolle	227
9.1	Zuverlässige Datenübertragung	227
9.1.1	Stop-and-Wait-ARQ	228
9.1.2	Durchsatz eines SW-ARQ-Protokolls	231
9.2	Vielfachzugriffsverfahren	232
9.2.1	Multiplexing	233
9.2.2	Das ALOHA-Konzept	233

9.3	Routing	242
9.3.1	Netzwerkgraph	243
9.3.2	Dijkstra-Algorithmus	245
9.4	Anmerkungen	246
9.5	Literaturverzeichnis	247
9.6	Übungsaufgaben	248
10	Datensicherheit	255
10.1	Einführung in die Zahlentheorie	256
10.2	Vertraulichkeit mit RSA	263
10.3	Authentizität der Daten und Nutzer	266
10.4	Anmerkungen	266
10.5	Literaturverzeichnis	267
10.6	Übungsaufgaben	268
A	Wahrscheinlichkeitsrechnung	271
A.1	Diskrete Zufallsvariable	280
A.1.1	Gebräuchliche Kenngrößen von Zufallsvariablen	283
A.1.2	Spezielle diskrete Verteilungen	285
A.1.3	Grenzwerte und Abschätzungen	292
A.2	Kontinuierliche Wahrscheinlichkeitstheorie	294
A.2.1	Kontinuierliche Zufallsvariablen	294
A.2.2	Spezielle Verteilungen	299
B	Signaltheorie	303
B.1	Distributionen als Signale	304
B.1.1	Dirac-Impuls, Delta(δ)-Funktion, δ -Impuls	304
B.1.2	Die Sprungfunktion	305
B.1.3	Signum-Funktion	305
B.1.4	Rechteckimpuls $\text{rect}(\frac{t}{T})$	306
B.1.5	Dreiecksimpuls $\text{tri}(\frac{t}{T}), \Lambda(\frac{t}{T})$	306
B.1.6	si-Funktion $\text{si}(t)$	306
B.1.7	Kammfunktion $\text{III}_T(t)$	306
B.2	Spezielle analoge Signale	307
B.3	Rechenoperationen mit Signalen	308
B.4	Energie und Leistung von Signalen	309
B.5	Eigenschaften von Signalen	309

C Die Fourier-Transformation	311
C.1 Eigenschaften der Fourier-Transformation	311
C.1.1 Linearität	313
C.1.2 Verschiebung im Zeit- und transformierten Bereich	313
C.1.3 Zeitskalierung, Ähnlichkeit	314
C.1.4 Ableitung, Differentiation und Integration	315
C.1.5 Faltung	315
C.1.6 Symmetrie (Dualität), konjugiert komplexe Funktionen	316
C.1.7 Parsevalsches Theorem	316
C.2 Korrespondenzen der Fourier-Transformation	317
D LTI-Systeme	319
D.1 Eigenschaften von LTI-Systemen	319
D.2 Impulsantwort, System-/Übertragungs-Funktion	321
D.3 Eigenfunktion	322
D.4 Komplexe Wechselstromrechnung	322
D.5 FIR und IIR Systeme	323
D.6 Filter	325
D.7 LTI-Systeme mit stochastischer Erregung	328
D.7.1 Beziehungen zwischen Ein- und Ausgang	330
D.7.2 Rauschen und Signale	331
Index	333