

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Grundbegriffe	5
1.1 Gewicht, Distanz	7
1.1.1 Mindestdistanz und Fehlerkorrigierbarkeit	8
1.1.2 Hamming-Schranke	9
1.2 Prüfmatrix und Syndrom	11
1.3 Decodierprinzipien	12
1.4 Fehlerwahrscheinlichkeit	15
1.5 Hamming-Codes	17
1.6 Generatormatrix	19
1.7 Zyklische Codes	20
1.8 Dualer Code	21
1.9 Erweiterung und Verkürzung von Codes	21
1.10 Kanalkapazität und Kanalcodiertheorem	23
1.11 Anmerkungen	25
1.12 Übungsaufgaben	26
2 Galois-Felder	29
2.1 Gruppen	29
2.2 Ringe, Körper	29
2.3 Primkörper	31
2.4 Gaußkörper	34
2.5 Erweiterungskörper	36
2.5.1 Irreduzible Polynome	36
2.5.2 Primitive Polynome, Wurzeln	37
2.5.3 Eigenschaften von Erweiterungskörpern	40
2.6 Kreisteilungsklassen und quadratische Reste	42
2.7 Anmerkungen	43

2.8	Übungsaufgaben.....	44
3	Reed-Solomon-Codes	47
3.1	Definition von RS-Codes.....	47
3.1.1	Diskrete Fourier-Transformation (DFT).....	48
3.1.2	Parameter von RS-Codes.....	50
3.1.3	Generatorpolynom.....	51
3.1.4	Prüfpolynom.....	52
3.1.5	Codierung.....	53
3.1.6	Zwei Eigenschaften zyklischer Codes.....	54
3.1.7	GRS-Codes und Erweiterungen von RS-Codes.....	55
3.2	Algebraische Decodierung bis zur halben Mindestdistanz.....	59
3.2.1	Prinzip der algebraischen Decodierung.....	59
3.2.2	Der Fehler als zyklischer Code.....	62
3.2.3	Decodierung mit Fehler-Generatorpolynom.....	64
3.2.4	Decodierung mit Fehler-Prüfpolynom.....	70
3.2.5	Verfahren von Sugiyama <i>et al.</i> , Welch-Berlekamp und Gao.....	75
3.2.6	Verfahren von Gorenstein-Zierler, Peterson und Berlekamp-Massey....	80
3.2.7	Korrektur von Fehlern und Auslöschungen.....	83
3.3	Algebraische Decodierung über die halbe Mindestdistanz.....	87
3.3.1	Interleaved RS-Codes (IRS).....	87
3.3.2	Power Decodierung.....	89
3.4	Algebraische Listendecodierung durch Interpolation.....	91
3.5	Anmerkungen.....	92
3.6	Übungsaufgaben.....	94
4	BCH-Codes	97
4.1	Primitive BCH-Codes.....	97
4.1.1	Definition mit Kreisteilungsklassen.....	97
4.1.2	Definition mit DFT.....	100
4.1.3	Eigenschaften von primitiven BCH-Codes.....	100
4.1.4	Berechnung des Generatorpolynoms.....	102
4.2	Nicht-primitive BCH-Codes.....	104
4.3	Verkürzte und erweiterte BCH-Codes.....	105
4.4	Nicht-binäre BCH-Codes und RS-Codes.....	106
4.4.1	Nicht-binäre BCH-Codes.....	106
4.4.2	Zusammenhang zwischen RS- und BCH-Codes.....	106
4.5	Asymptotisches Verhalten von BCH-Codes.....	107
4.6	Decodierung von BCH-Codes.....	108
4.7	Anmerkungen.....	109
4.8	Übungsaufgaben.....	110

5	Weitere Codeklassen	111
5.1	RM-Codes (1. Ord.), Simplex-Codes und Walsh-Sequenzen	111
5.1.1	Reed-Muller- und Hamming-Code	113
5.1.2	Hamming- und Simplex-Code	113
5.1.3	Simplex-Code und binäre Pseudo-Zufallsfolgen	115
5.1.4	Reed-Muller- und Simplex-Code	118
5.2	Reed-Muller-Codes höherer Ordnung	120
5.3	q -wertige Hamming-Codes	123
5.4	Binäre Quadratische-Reste-Codes	125
5.5	Low-Density Parity-Check Codes	126
5.5.1	Definition und Darstellung	126
5.5.2	LDPC Codes mit Euklidischer- und Projektiver Geometrie	128
5.6	Anmerkungen	132
5.7	Übungsaufgaben	133
6	Eigenschaften von Blockcodes und Trellisdarstellung	135
6.1	Dualer Code und MacWilliams-Identität	135
6.2	Automorphismus	141
6.3	Gilbert-Varshamov-Schranke	141
6.4	Singleton-Schranke (MDS)	143
6.5	Reiger-Schranke (Bündelfehlerkorrektur)	144
6.6	Asymptotische Schranken	144
6.7	Minimales Trellis von linearen Blockcodes	146
6.7.1	Konstruktion mit Hilfe der Prüfmatrix	148
6.7.2	Konstruktion mit Hilfe der Generatormatrix	151
6.7.3	Eigenschaften eines minimalen Trellis	156
6.8	Anmerkungen	161
6.9	Übungsaufgaben	163
7	Weitere Decodierverfahren	165
7.1	Kanalmodelle und Metriken	166
7.1.1	q -näher symmetrischer Kanal	167
7.1.2	Additives weißes Gaußsches Rauschen (AWGN)	168
7.1.3	Zeitvariante Kanäle	169
7.1.4	Hamming- und euklidische Metrik	171
7.2	Decodierprinzipien, Zuverlässigkeit, Komplexität und Codiergewinn	172
7.2.1	MAP- und ML-Decodierung	172
7.2.2	Zuverlässigkeit für die binäre Übertragung	173
7.2.3	Decodierkomplexität und der Satz von Evseev	179

7.2.4	Codiergewinn	181
7.3	Hard-Decision Decodierung	182
7.3.1	Permutationsdecodierung	182
7.3.2	Mehrheitsdecodierung (<i>majority logic decoding</i>)	184
7.3.3	DA-Algorithmus	186
7.3.4	Viterbi-Algorithmus	189
7.4	Soft-Decision Decodierung	190
7.4.1	Generalized-Minimum-Distance (GMD) Decodierung	191
7.4.2	Chase- und Dorsch-Algorithmen	193
7.4.3	Listen-Viterbi-Algorithmus	195
7.4.4	Iterative Verfahren	199
7.5	Decodierung als Optimierungsproblem	206
7.6	Anmerkungen	209
7.7	Übungsaufgaben	210
8	Faltungscodes	213
8.1	Grundlagen von Faltungscodes	214
8.1.1	Codierung durch sequentielle Schaltkreise	215
8.1.2	Impulsantwort und Faltung	216
8.1.3	Einflusslänge, Gedächtnisordnung und Gesamteinflusslänge	218
8.1.4	Generatormatrix im Zeitbereich	220
8.1.5	Zustandsdiagramm, Codebaum und Trellis	222
8.1.6	Freie Distanz und Distanzfunktion	226
8.1.7	Terminierung, Truncation und Tail-Biting	230
8.1.8	Generatormatrix im transformierten Bereich	234
8.1.9	Systematische und katastrophale Generatormatrizen	238
8.1.10	Punktierte Faltungscodes	241
8.2	Algebraische Beschreibung	244
8.2.1	Code, Generatormatrix und Codierer	245
8.2.2	Faltungscodierer in Steuer- und Beobachterentwurf	245
8.2.3	Äquivalente Generatormatrizen	248
8.2.4	Smith-Form einer Generatormatrix	250
8.2.5	Basisgeneratormatrix	252
8.2.6	Katastrophale Generatormatrizen	254
8.2.7	Systematische Generatormatrizen	256
8.2.8	Prüfmatrix und dualer Code	258
8.3	Distanzmaße	259
8.3.1	Spalten- und Zeilendistanz	259
8.3.2	Erweiterte Distanzmaße	263
8.4	Maximum-Likelihood (Viterbi-) Decodierung	267
8.4.1	Metrik	269
8.4.2	Viterbi-Algorithmus	271
8.4.3	Schranken zur Decodierfähigkeit	275

8.4.4	Interleaving	278
8.4.5	Soft-Output-Viterbi-Algorithmus (SOVA)	279
8.5	Soft-Output-Decodierung	282
8.6	Sequentielle Decodierung	285
8.6.1	Fano-Metrik	286
8.6.2	Zigangirov-Jelinek (ZJ)-Decodierer	287
8.6.3	Fano-Decodierer	289
8.7	(Partial-) Unit-Memory-Codes, (P)UM-Codes	290
8.7.1	Definition von (P)UM-Codes	290
8.7.2	Trellis von (P)UM-Codes	292
8.7.3	Distanzmaße bei (P)UM-Codes	293
8.7.4	Konstruktion von (P)UM-Codes	294
8.7.5	BMD-Decodierung	297
8.8	Tabellen guter Codes	299
8.9	Anmerkungen	303
8.10	Übungsaufgaben	305
9	Verallgemeinerte Codeverkettung	307
9.1	Einführende Beispiele	310
9.2	GC-Codes mit Blockcodes	315
9.2.1	Definition von GC-Codes	316
9.2.2	Zur Partitionierung von Blockcodes	318
9.2.3	Codekonstruktionen	325
9.2.4	Decodierung von GC-Codes	331
9.2.5	UEP-Codes mit mehrstufigem Fehlerschutz	349
9.2.6	Zyklische Codes als GC-Codes	350
9.3	Error Locating Codes	356
9.3.1	Verallgemeinerte Error Locating (GEL) Codes	357
9.3.2	GEL Codes für zweidimensionale Fehler	362
9.4	GC-Codes mit Faltungscodes	370
9.4.1	Partitionierung von (P)UM-Codes	370
9.4.2	Einführende Beispiele zur Partitionierung durch das Trellis	374
9.4.3	Partitionierung von Faltungscodes	383
9.4.4	Konstruktion und Decodierung eines GC-Codes	386
9.4.5	Turbo-Codes und ungelöste Probleme	393
9.5	GC-Codes mit Block- und Faltungscodes	395
9.5.1	Innere Faltungs- und äußere Blockcodes	395
9.5.2	Innere Block- und äußere Faltungscodes	400
9.6	Mehrfachverkettung und Reed-Muller-Codes	402
9.6.1	GMC, Decodieralgorithmus für RM-Codes	405
9.6.2	L-GMC, Listendecodierung von RM-Codes	410
9.6.3	Simulationsergebnisse und Komplexität	414

9.7	Anmerkungen	418
10	Codierte Modulation	423
10.1	Einführende Beispiele	423
10.2	GC mit Blockmodulation	426
10.2.1	Partitionierung von Signalen	426
10.2.2	Definition der Codierten Modulation	428
10.2.3	Lattices und verallgemeinerte Mehrfachverkettung	430
10.2.4	Decodierung	434
10.2.5	Trelliscodierte Modulationssysteme	438
10.3	GC mit Faltungsmodulation	440
10.3.1	Einführendes Beispiel	440
10.3.2	Algebraische Beschreibung der Faltungsmodulation	442
10.3.3	Partitionierung für Faltungsmodulation	445
10.3.4	Äußere Faltungscodes	446
10.3.5	Äußere Blockcodes	450
10.4	Anmerkungen	450
A	Euklidischer Algorithmus	453
A.1	Euklidischer Algorithmus für ganze Zahlen	453
A.2	Euklidischer Algorithmus für Polynome	455
B	Metriken	461
B.1	Lee-Metrik	461
B.2	Manhattan- und Mannheim-Metrik	464
B.3	Kombinatorische Metrik	465
C	Lösungen zu den Übungsaufgaben	469
	Literaturverzeichnis	501
	Index	523