

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.2 Gliederung der Arbeit	3
1.3 Notation	4
2 Grundlagen	7
2.1 Zeitdiskretes Basisbandmodell für frequenzselektive MIMO- Systeme	7
2.2 Sender	11
2.2.1 Codierung	11
2.2.2 Modulation	13
2.2.3 Pilotdaten	14
2.2.4 Kenngrößen und statistische Eigenschaften des Sen- designals	15
2.3 Kanal	16
2.3.1 Stochastische Modellierung des Kanals	16
2.3.2 Kanalkapazität	20
2.4 Empfänger	22
2.4.1 MAP-Kriterium unter Berücksichtigung nicht-idealer Kanalkennntnis	22
2.4.2 MAP-Kriterium bei gaußverteilterm Kanal	24
2.4.3 Diskussion	26
2.5 Zusammenfassung	27
3 Pilotdatengestützte Kanalschätzung	29
3.1 Definitionen	29
3.2 Deterministische Ansätze: Maximum-Likelihood-Schätzer	30

3.3	Bayessche Ansätze für unkorrelierte Block-Rayleigh-Kanäle: Maximum-a-posteriori-Schätzer	32
3.4	Bayessche Ansätze für räumlich korrelierte Block-Rayleigh- Kanäle	33
3.4.1	MAP-Lösung	34
3.4.2	Modifizierte MAP-Lösung	36
3.4.3	Nicht-regularisierter Fixpunkt-Algorithmus	37
3.4.4	Linear regularisierter Fixpunkt-Algorithmus	40
3.4.5	Durch Projektion regularisierter Fixpunkt-Algorithmus	41
3.4.6	Linear und durch Projektion regularisierter Fixpunkt- Algorithmus	45
3.5	Mehrkanalige Pilotdatensequenzen zur Schätzung frequenz- selektiver MIMO-Kanäle	48
3.5.1	Pilotdaten im Zeitmultiplex	49
3.5.2	Zadoff-Chu-Sequenzen	49
3.5.3	M -Folgen	50
3.6	Zusammenfassung	51
4	Semiblinde Kanalschätzung	53
4.1	CRLB für semiblinde Kanalschätzung	53
4.1.1	Definitionen	54
4.1.2	Bestimmung der Fisher-Informationsmatrix und asymptotische Näherungen	55
4.1.3	Eingrenzung der SNR-Bereiche für die asymptoti- schen Näherungen	56
4.1.4	Beispiel	57
4.2	Semiblinde Kanalschätzung auf Basis von Statistik zweiter Ordnung	58
4.2.1	Maximum-Likelihood-Ansatz	59
4.2.2	Maximum-a-posteriori-Ansatz	62
4.2.3	Numerische Ergebnisse	63
4.3	Feedback-Methoden	64
4.3.1	Semiblinde Kanalschätzung mit Hard Decision Feed- back	66
4.3.2	Semiblinde Kanalschätzung mit Soft Decision Feedback	67
4.3.3	Feedback-Methoden bei codierter Übertragung	73
4.3.4	Numerische Ergebnisse	78
4.4	Trellis-basierte Verfahren	82
4.4.1	Numerische Ergebnisse	85
4.5	Zusammenfassung	86

5	Blinde Kanalschätzung	89
5.1	Blinde Kanalschätzung auf Basis von Second-Order-Statistics	90
5.1.1	Blind Channel Subspace Estimation	90
5.2	Blinde Kanalschätzung auf Basis von Higher-Order-Statistics	95
5.2.1	Vorbetrachtungen	96
5.2.2	JADE-Algorithmus	100
5.2.3	Numerische Ergebnisse	103
5.2.4	Statistische Unabhängigkeit und Codierung	103
5.3	Code-basierte blinde Kanalschätzung	105
5.3.1	Asymmetrische LDPC-Codes	106
5.3.2	Code-basierte blinde Kanalschätzung	109
5.3.3	Graphen-basierte Inkohärente LDPC-Decodierung	112
5.3.4	Numerische Ergebnisse	122
5.4	Zusammenfassung	125
6	Gesamtkonzeptionen	127
6.1	Uncodierte Übertragung	127
6.1.1	Semiblinder Empfänger	127
6.1.2	Blinder Empfänger	128
6.1.3	Numerische Ergebnisse	130
6.2	Codierte Übertragung	131
6.2.1	Semiblinder Empfänger	131
6.2.2	Blinder Empfänger	132
6.2.3	Numerische Ergebnisse	133
6.3	Übertragung über Mehrantennensystem im ISM-Band	134
6.3.1	Mehrantennen System zur Übertragung im ISM-Band (MASI)	134
6.3.2	Semiblinder Empfänger	135
6.3.3	Blinder Empfänger	135
6.3.4	Numerische Ergebnisse	135
6.4	Zusammenfassung	138
7	Zusammenfassung	141
A	Allgemeine Definitionen und Grundlagen	145
A.1	Differentiation	145
A.1.1	Wirtinger Kalkül	145
A.1.2	Ableitung nach Vektoren	145
A.1.3	Ableitung nach Matrizen	146
A.1.4	Beispiele	146
A.2	Matrix- und Vektor-Normen	146
A.2.1	L2-Norm	146

A.2.2	Frobenius-Norm	147
A.3	Operatoren	147
A.3.1	Spur	147
A.3.2	Vektor-Operator	147
A.3.3	Kronecker-Produkt	147
A.3.4	Landau-Symbol	148
A.4	Algebraische Funktionen	149
A.4.1	Sprungfunktion	149
A.4.2	Dirac-Delta-Funktion	149
A.5	Sätze der linearen Algebra	150
A.5.1	Matrix-Inversionslemma	150
A.5.2	Matrix-Identitäten	150
A.5.3	Quadratische Ergänzung	150
B	Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie	151
B.1	Definitionen	151
B.1.1	Wahrscheinlichkeit und Verteilungsdichtefunktion	151
B.1.2	Verbund-Wahrscheinlichkeit und Verbund-VDF	152
B.1.3	Bedingte Wahrscheinlichkeit und bedingte VDF	152
B.1.4	Kettenregel	152
B.1.5	Statistische Unabhängigkeit	153
B.1.6	Bayes-Regel	153
B.2	Spezielle Verteilungsdichtefunktionen	153
B.2.1	Gleichverteilung	153
B.2.2	Komplexe Normalverteilung	154
B.2.3	Rayleigh-Verteilung	155
B.2.4	Zentrale Chi-Quadrat-Verteilung	155
B.3	Momente und Kumulanten	155
B.3.1	Charakteristische Funktion	155
B.3.2	Zweite Charakteristische Funktion	155
B.3.3	Momente	156
B.3.4	Kumulanten	157
B.3.5	Eigenschaften von Momenten und Kumulanten	158
B.3.6	Unabhängigkeit N -ter Ordnung	159
C	LDPC-Codes	161
C.1	Einführung	161
C.2	Definitionen	161
C.3	Grafische Repräsentation	163
C.4	Decodierung mittels Sum-Product-Algorithmus	164
C.5	Beispiele	169

C.6	Entwurf von Parity-Check-Matrizen	171
C.7	Numerische Ergebnisse	174
D	Herleitungen	177
D.1	Kapitel 2	177
D.1.1	Herleitung von Gleichung (2.4.3)	177
D.1.2	Herleitung von Gleichung (2.4.5)	178
D.2	Kapitel 3	180
D.2.1	Cramer-Rao-Lower-Bound für skalare und vektorielle Schätzprobleme	180
D.2.2	Fehleranalyse Fixpunkt	183
D.3	Kapitel 4	184
D.3.1	Asymptotische Näherung der FIM bei hohem SNR	184
D.3.2	Asymptotische Näherung der FIM bei niedrigem SNR	185
D.3.3	Herleitung von Gleichung (4.3.4)	186
D.4	Kapitel 5	187
D.4.1	Herleitung von Gleichung (5.3.8)	187
E	Verzeichnisse	191
E.1	Symbolverzeichnis	191
E.2	Abkürzungsverzeichnis	193
	Literaturverzeichnis	197
	Stichwortverzeichnis	204