

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Übertragungskanal	5
2.1. Kanaldefinitionen	5
2.2. AWGN-Kanal	7
2.3. Mobilfunkkanal	9
2.3.1. Allgemeines	9
2.3.2. Mehrwegeausbreitung	10
2.3.3. Doppler-Effekt	12
2.3.4. Rayleigh-Kanal mit klassischem Dopplerspektrum	17
2.3.5. Verallgemeinerung des Rayleigh-Kanal-Modells	29
2.3.6. Rice-Kanal	31
2.3.7. Modellierung des Mobilfunkkanals als FIR-Filter	34
2.3.8. Bello-Funktionen	39
2.3.9. Korrelationsfunktionen einfacher WSSUS-Kanäle	59
3. Modulation und Signalspreizung	75
3.1. Modulation	77
3.2. Spreizverfahren	85
3.2.1. Allgemeines	85
3.2.2. DS-Spreizung	87
3.2.3. MC-Spreizung	92
3.2.4. FH-Spreizung	96
3.2.5. TH-Spreizung	100
4. Vielfachzugriffsverfahren	103
4.1. SDMA	104
4.1.1. Raummultiplex	105
4.1.2. Massive MIMO	107
4.2. FDMA	110
4.3. TDMA	114
4.4. OFDMA	119
4.4.1. WiMAX	120
4.4.2. LTE	124
4.5. CDMA	130
5. Vermeidung ISI-bedingter Fehler	141
5.1. Schmalbandübertragung	142

5.2.	Entzerrung im Zeitbereich	142
5.2.1.	Zero-Forcing	143
5.2.2.	MMSE-Entzerrer	146
5.2.3.	Decision-Feedback Entzerrer	148
5.2.4.	Tomlinson-Harashima-Vorcodierung	150
5.3.	Entzerrung im Frequenzbereich	154
5.4.	Entzerrung im Doppler-Verzögerungsbereich	159
5.5.	MLSE-Empfang	165
5.5.1.	Euklidische Distanzmetrik	165
5.5.2.	Ungerboeck-Empfänger	168
5.5.3.	Forney-Empfänger	179
5.6.	Rake-Empfänger	186
5.7.	Beamforming	187
6.	Diversitätsverfahren	189
6.1.	Raumdiversität	190
6.1.1.	Empfangsdiversität	192
6.1.2.	Sendediversität bei Kanalkenntnis	197
6.1.3.	Sendediversität ohne Kanalkenntnis	201
6.1.4.	Equal Gain Adding	210
6.1.5.	Raumdiversität in MIMO-Systemen	212
6.1.6.	Antennenabstand für Raumdiversität	215
6.2.	Polarisationsdiversität	218
6.3.	Zeit- und Frequenzdiversität	219
6.3.1.	Allgemeines	219
6.3.2.	OFDM	220
6.3.3.	Cyclic Delay Diversity	221
6.3.4.	OTFS	225
6.4.	Pfaddiversität	226
7.	LTE-Übertragungsmodi im Downlink	227
8.	Kanalschätzung	237
8.1.	Einzelträgermodulation	237
8.1.1.	Kanalschätzung mit Trainingssequenz	237
8.1.2.	Kanalschätzung mit Pilotsignal	243
8.2.	OFDM	246
8.2.1.	Kanalschätzung mit Trainingssequenz	246
8.2.2.	Kanalschätzung mit Pilotsignalen	249
A.	Übertragungskanal	255
A.1.	Transformation von Wahrscheinlichkeitsdichten	255
A.2.	Simulation des Rayleigh-Störprozesses	256

A.3. PSD eines differenzierten Signals	259
A.4. Leistungsspektrum Rayleigh-Störprozess	261
A.5. Bello-Funktionen	264
A.6. Kontinuierliche und diskrete Bello-Funktionen	266
B. Signalspreizung	269
B.1. Bitfehlerwahrscheinlichkeit in einem DS-SSS	269
B.2. Bitfehlerwahrscheinlichkeit in einem FH-SSS	275
C. Vielfachzugriff	277
C.1. Singulärwert-Zerlegung	277
C.2. Datendurchsatz im ALOHA-Netz	278
D. Entzerrung	281
D.1. Tomlinson-Harashima-Vorcodierung	281
D.2. AKF und Energiedichtespektrum der Kanalimpulsantwort	281
D.3. Impulsantwort des OTFS-Systems	283
D.4. 2D-LSE-Entzerrung für OFTS	285
D.5. Strahlformung mit einem ULA	289
E. Diversität	293
E.1. Vektordarstellung von Signalen	293
E.2. Empfangsdiversität	294
E.2.1. Selection Diversity Combining	294
E.2.2. Maximum Ratio Combining	296
E.2.3. Equal Gain Combining	299
E.2.4. Wahrscheinlichkeitsdichte des SNR bei STTD	299
E.3. Korrelation zwischen Antennen	300
E.4. Virtuelle Pilotsignale	301
Abkürzungen	305
Symbolverzeichnis	311
Literaturverzeichnis	315
Index	321