

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und mathematischen Symbole	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	5
2 Theorie zum Funkkanal	7
2.1 Systemtheoretische Beschreibung des Übertragungskanal	7
2.2 Der zeitinvariante Funkkanal	8
2.3 Der zeitvariante Funkkanal	11
2.4 Kanalsimulation	16
2.4.1 Tapped Delay Line Modell	16
2.4.2 Raytracing	17
2.5 Kanaldiversität	21
3 OFDM-Grundlagen	27
3.1 Das OFDM-Sendesignal	28
3.2 Das OFDM-Empfangssignal	31
3.3 Das zeitdiskrete OFDM-Modell	33
4 IEEE 802.11p PHY-Spezifikation	35
4.1 IEEE 802.11p Systemparameter	35
4.2 IEEE 802.11p Frame-Format	37
4.3 IEEE 802.11p Encoder	39
4.4 IEEE 802.11p Decoder	39
4.5 Gegenüberstellung von Systemparametern und Kanalanforderungen	41
4.6 Referenz-Empfängerarchitektur	43
4.6.1 Beschreibung der Referenz-Empfängerarchitektur	43
4.6.2 Simulationsergebnisse	46
5 Verbesserte Empfängerarchitektur I: Adaptive Kanalschätzung	49
5.1 „Pilot-Aided Clustered Subcarriers“- Kanalschätzung	50
5.1.1 Beschreibung des Verfahrens	50
5.1.2 Simulationsergebnisse	56
5.2 „Decision-Directed“-Kanalschätzung	58
5.2.1 Beschreibung des Verfahrens	58
5.2.2 Simulationsergebnisse	59

5.3	Möglichkeiten zur Optimierung der Kanalschätzung	61
5.3.1	Ausnutzung der Frequenzkorrelation des Kanals	61
5.3.1.1	„Noise Reduction“-Filter	61
5.3.1.2	Wiener Filter in Frequenzrichtung	64
5.3.1.3	Optimierung der Frequenzfilterparametrisierung	68
5.3.2	Ausnutzung der Zeitkorrelation des Kanals	76
5.3.2.1	„Moving Average Window“	76
5.3.2.2	alpha-Filter	77
5.3.2.3	Wiener Filter in Zeitrichtung	79
5.3.2.4	Optimierung der Zeitfilterparametrisierung	80
5.4	Empfohlene Konfiguration der adaptiven Kanalschätzung	83
6	Verbesserte Empfängerarchitektur II: Nutzung mikroskopischer Di-	
	versität	87
6.1	Switched Diversity	87
6.2	Maximum Ratio Combining	89
6.3	Cyclic Delay Diversity	91
6.4	Alamouti Space-Time Block Coding	93
6.5	Bewertung der Diversity-Verfahren	100
7	Untersuchung der C2C-Konnektivität in realer Umgebung	113
7.1	Beschreibung des C2CC-MIMO-Testbeds	114
7.2	Beschreibung der untersuchten Szenarien	118
7.2.1	Kreuzungsszenario	118
7.2.2	Autobahnszenario	121
7.3	Ergebnisse der Messkampagne	126
7.3.1	C2C-Konnektivität im Kreuzungsszenario	127
7.3.2	C2C-Konnektivität auf der Autobahn	133
8	Zusammenfassung	143
	Anhang	147
A	Modal Split des in Deutschland erbrachten Verkehrsaufwandes	147
B	Parametrisierung der genutzten WSSUS-Kanalmodelle	149
C	Berechnung der Dauer eines IEEE 802.11p-Pakets	153
D	Ergänzende Angaben zur Modellierung der straßennahen	
	Umgebung im Raytracer	155
D.1	Materialparameter	155
D.2	Modellierung der Fahrzeugkarosserie	155
D.3	Modellierung der Verkehrsinfrastruktur	157
E	Bitfehlerratenberechnung unter Berücksichtigung der Anwendung	
	verschiedener Diversity-Verfahren	161
E.1	SISO-Übertragung im Rayleighkanal	162

E.2	Switched Diversity im Rayleighkanal	165
E.3	Maximum Ratio Combining im Rayleighkanal	166
E.4	Cyclic Delay Diversity im Rayleighkanal	168
E.5	Alamouti Space-Time Block Coding im Rayleighkanal	169
F	Bestimmung der Verzögerungszeitdifferenz eines 2-Kanal CDD-Senders bei Anwendung in IEEE 802.11p	173
G	SNR-Schätzung: Weighted Modulation Error Ratio	177
H	Verifikation der Raytracing-Kanalsimulation	179
I	Kanaldämpfungskoeffizienten der Kreuzungsszenarien mit Bezugnahme auf die Streckenentfernung	185
J	Datenblätter: USRP2, Ettus Research	187
K	Bei der C2CC-Messkampagne ermittelte PER in Abhängigkeit von der Kommunikationsdistanz	191
	Literaturverzeichnis	197