

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	1
1.1 Schätzen der Kanalimpulsantwort als Lösung eines Entfaltungsproblems	1
1.2 Stand der Technik und offene Probleme	4
1.3 Ziele der Arbeit	14
1.4 Inhaltsübersicht und wesentliche Ergebnisse	16
<b>2. Beschreibung des Systemmodells</b>	21
2.1 Allgemeine Struktur der betrachteten Systeme	21
2.2 Beschreibung und Modellierung der Systemkomponenten	22
2.2.1 Sender	22
2.2.2 Übertragungskanal	24
2.2.3 Empfänger	27
2.3 Zeitdiskretes Systemmodell	31
<b>3. Theorie der optimalen linearen erwartungstreuen Kanalschätzung</b>	36
3.1 Beschreibung des Schätzproblems	36
3.2 Konventionelle lineare Algorithmen zur Kanalschätzung	37
3.2.1 Matched Filter	37
3.2.2 Whitening Matched Filter	40
3.3 Optimale lineare erwartungstreue Algorithmen zur Kanalschätzung	42
3.3.1 Prinzip der Erwartungstreue	42
3.3.2 Optimale erwartungstreue Kanalschätzung mit expandierten Sendeimpulsen	43
3.3.2.1 Optimierungskriterien	43
3.3.2.2 Gauß-Schätzung	47
3.3.2.3 Gauß-Markov-Schätzung	50
3.3.2.4 Maximum-Likelihood-Schätzung	52
3.3.2.5 Zusammenhänge zwischen den optimalen erwartungstreuen Algorithmen zur Kanalschätzung	54
3.3.2.6 Vergleich mit konventionellen Algorithmen zur Kanalschätzung	57
3.3.3 Erwartungstreue Kanalschätzung mit periodischen Bandspreizsignalformen	60

<b>4. Anwendung der erwartungstreuen Optimalschätzung in Pulsradar-systemen mit expandierten Impulsen</b> . . . . .	66
4.1 Vorbemerkung . . . . .	66
4.2 Bewertung expandierter Impulse . . . . .	67
4.2.1 Bekannte expandierte Impulse . . . . .	67
4.2.2 Gütemaße zum Bewerten expandierter Impulse . . . . .	69
4.2.3 Anwenden der Gütemaße zum Bewerten expandierter Impulse . . . . .	73
4.3 Optimale Kanalschätzung bei korreliertem additivem Rauschen . . . . .	79
4.3.1 Vorbemerkung . . . . .	79
4.3.2 Bewertung optimaler linearer Algorithmen zur Kanalschätzung bei korreliertem Rauschen . . . . .	79
4.3.3 Fallbeispiel Schmalbandrauschen . . . . .	83
4.4 Einfluß einer Dopplerverschiebung . . . . .	89
4.4.1 Modellierung von Bewegtziteln . . . . .	89
4.4.2 Genauigkeit der Kanalschätzung bei dopplerverschobenem Empfangssignal . . . . .	90
4.4.3 Simulationsbeispiele . . . . .	94
4.5 Einfluß einer endlichen Quantisiererwortbreite . . . . .	98
4.5.1 Komplexe Quantisierungsoperation . . . . .	98
4.5.2 Schätzgenauigkeit bei endlicher Quantisiererwortbreite . . . . .	100
4.5.3 Simulationsbeispiele . . . . .	103
<b>5. Anwendung der erwartungstreuen Optimalschätzung zum Vermessen von Mobilfunkkanälen mit periodischen Bandspreizsignalen</b> . . . . .	107
5.1 Beschreibung des Schätzproblems . . . . .	107
5.2 Optimierung und Spezifikation des Breitband-Channel-Sounders . . . . .	108
5.2.1 Entwicklungsablauf . . . . .	108
5.2.2 Prinzipielle Struktur des Meßsystems . . . . .	110
5.2.3 Modellierung der Systemkomponenten . . . . .	112
5.2.4 Optimierung der sendeseitigen Testsignalerzeugung. . . . .	114
5.2.4.1 Optimierung der Testsignalform . . . . .	114
5.2.4.2 Optimierung und Spezifikation der Senderkomponenten . . . . .	118
5.2.5 Optimierung der empfängerseitigen Signalverarbeitung. . . . .	126
5.2.5.1 Implementieren der erwartungstreuen Optimal- schätzung im realen System . . . . .	126
5.2.5.2 Optimierung und Spezifikation der Empfänger- komponenten . . . . .	131
5.2.6 Bewertung des optimierten Breitband-Channel-Sounders . . . . .	138
5.2.6.1 Simulationsbeispiel . . . . .	138
5.2.6.2 Meßdynamik . . . . .	140

<b>6. Aufwandsgünstige suboptimale Algorithmen zum Implementieren der optimalen erwartungstreuen Kanalschätzung . . . . .</b>	<b>143</b>
6.1 Motivation und Grundidee . . . . .	143
6.2 Neuartiger Algorithmus zum Mismatched-Filter-Entwurf . . . . .	145
6.2.1 Bestimmung der Filterkoeffizienten . . . . .	145
6.2.2 Analyse der Übertragungsfunktion des neuartigen Mismatched Filters . . . . .	146
6.2.3 Analyse des Filterausgangssignals . . . . .	149
6.3 Entwurf eines neuartigen Nebenmaxima-Reduktionsfilters . . . . .	152
6.3.1 Bestimmung der Filterkoeffizienten . . . . .	152
6.3.2 Analyse der Übertragungsfunktion des Nebenmaxima-Reduktionsfilters . . . . .	153
6.3.3 Analyse des Filterausgangssignals . . . . .	156
6.4 Neuartiger Algorithmus zur aufwandsgünstigen hochauflösenden Kanalschätzung auf Basis der erwartungstreuen Optimalschätzung . . . . .	159
<b>7. Realisierung und meßtechnische Untersuchung von Systemen mit optimaler erwartungstreuer Kanalschätzung . . . . .</b>	<b>166</b>
7.1 Vorbemerkung . . . . .	166
7.2 Realisierung eines erwartungstreuen Optimalschätzers für Radarempfänger . . . . .	166
7.2.1 Systemkonzept . . . . .	166
7.2.2 Beschreibung der Hardwarekomponenten . . . . .	168
7.2.3 Beschreibung der Softwarekomponenten . . . . .	171
7.2.4 Optimale erwartungstreue Kanalschätzung in Echtzeit . . . . .	173
7.3 Meßsystem Breitband-Channel-Sounder . . . . .	175
7.3.1 Aufbau des Meßsystems . . . . .	175
7.3.2 Basisdaten des Meßsystems . . . . .	178
7.3.3 Meßergebnisse . . . . .	180
7.4 Anwendungsmöglichkeiten der erwartungstreuen Optimalschätzung in zukünftigen nachrichtentechnischen Systemen . . . . .	184
<b>Anhang : Isomorphismus zwischen reellen und komplexen Matrizen . . . . .</b>	<b>186</b>
<b>Alphabetische Liste wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen. . . . .</b>	<b>188</b>
<b>Schrifttum . . . . .</b>	<b>192</b>