

Blinde Quellenseparierung in Kommunikationssystemen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt dem Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik)

der Universität Bremen

von

Dipl.-Ing. Jürgen Rinas

Tag des öffentlichen Kolloquiums: 09.06.2009
Gutachter der Dissertation: Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer
Prof. Dr.-Ing. T. Kaiser
Weitere Prüfer: Prof. Dr.-Ing. W. Anheier
Prof. Dr.-Ing. S. Paul



Bremen im Juli 2009

Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik
der Universität Bremen

Band 19

Jürgen Rinas

**Blinde Quellenseparierung
in Kommunikationssystemen**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8387-2

ISSN 1437-000X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsbereich Nachrichtentechnik des Instituts für Telekommunikation und Hochfrequenztechnik der Universität Bremen.

An dieser Stelle möchte ich mich für die vielfältige Unterstützung bei allen bedanken, die mir bei der Fertigstellung dieser Arbeit geholfen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer, der mir diese Arbeit ermöglichte und mich mit großem Interesse an diesem Thema durch viele Anregungen tatkräftig unterstützt hat. Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Kaiser von der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover gilt mein Dank für die Übernahme des Zweitgutachtens. Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Anheier und Herrn Prof. Dr.-Ing. S. Paul danke ich für ihre Tätigkeit als Prüfer.

Mein herzlicher Dank gilt allen ehemaligen und aktuellen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Arbeitsbereichs Nachrichtentechnik, die mich durch fachlichen Rat unterstützt haben. An die freundschaftliche Zusammenarbeit werde ich mich immer gern erinnern.

Besonders bedanke ich mich auch bei meinen Eltern. Ohne deren Unterstützung auf dem Weg zur Promotion wäre die Arbeit in diesem Rahmen nicht möglich gewesen.

Bremen, Juli 2009

Jürgen Rinas

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Gliederung der Arbeit	2
2 Der MIMO-Kanal	5
2.1 Gedächtnisfreier MIMO-Kanal	5
2.1.1 Deterministische MIMO-Kanäle im Mehrnutzerfall . . .	8
2.1.2 Deterministische MIMO-Kanäle im Einnutzerfall . . .	11
2.1.3 Statistische Modelle	15
2.2 Frequenzselektiver MIMO-Kanal	17
2.3 Zusammenfassung	18
3 Theoretische Grundlagen der Quellenseparierung	21
3.1 Kriterien zur blinden Quellenseparierung	21
3.2 ML-Detektion einer Multi-Layer-Übertragung	26
4 Algorithmen zur instantanen Quellenseparierung	29
4.1 Exkurs: lineare Entzerrung	29
4.1.1 Zero-Forcing-Entzerrung	30
4.1.2 MMSE-Entzerrung	30
4.2 Räumliche Dekorrelation / Principal Component Analysis . .	32
4.3 Higher Order Verfahren	34
4.3.1 JADE	34
4.3.2 MADE/SSARS	38
4.3.3 FastICA	39
4.3.4 Vergleich der HOS-Kriterien zur Quellenseparierung .	40
4.3.5 Bitentscheidung	45
4.3.6 Vergleich der HOS-Algorithmen	46

4.4	Geometrische Ansätze, CMA	49
4.4.1	MIMO CMA	49
4.4.2	Vergleich der CMA-Ansätze	53
4.5	Exkurs: Interference Cancellation / V-BLAST	55
4.6	Iterative Verbesserung durch Entscheidungsrückkopplung, Hybrider Detektor	57
4.6.1	Leistungsfähigkeit der iterativen Verbesserung	60
4.7	Verhalten von Quellenseparierungsalgorithmen	62
4.7.1	Verhalten einer Quellenseparierung bei Unter- und Überschätzung der Quellenanzahl	62
4.8	Zusammenfassung	67
5	Aspekte der Realisierung	69
5.1	Symboltaktsynchronisation unter MIMO-Bedingungen	69
5.1.1	Klassische Konzepte zur Symboltaktsynchronisation in SISO-Systemen	69
5.1.2	Timing Error Detector nach Gardner	71
5.1.3	Timing Error Detector nach Oerder	72
5.1.4	Erweiterung auf MIMO-Systeme	74
5.2	Schätzung des Signal-Rauschabstandes	76
5.2.1	SNR-Schätzung bei SISO-Systemen	76
5.2.2	SNR-Schätzung bei MIMO-Systemen	81
5.3	Zusammenfassung	83
6	Fallbeispiele praktischer Separierungen	85
6.1	Messaufbau und Übertragungssystem	86
6.2	Messergebnisse ausgewählter Szenarien	86
6.2.1	Szenarien im Flur des Gebäudes NW1 der Universität Bremen	87
6.2.2	Verbesserung durch Iterationen	92
7	Frequenzselektive Quellenseparierung	95
7.1	Blinde Separierung von OFDM-Signalen	96
7.1.1	Blinde OFDM Separierung zweiter Ordnung bei spe- ziellen Kanälen	97
7.1.2	Blinde Separierung von OFDM-Signalen durch Ent- scheidungsrückkopplung	101
7.2	Subraumansatz zur frequenzselektiven Quellenseparierung	105
7.3	Zusammenfassung	110
8	Zusammenfassung der Arbeit	113

A	MIMO-Demonstrator	117
A.1	Konzept des Demonstrators	117
A.2	Messablauf und Rahmensynchronisation	118
B	Messung von MIMO-Kanälen	123
B.1	Messverfahren	123
B.2	Praktische Messung	127
C	Zusammenhänge der Statistik höherer Ordnung	129
C.1	Zusammenhänge von Kumulanten und Verteilungsdichten . .	129
C.2	Approximation einer Verteilungsdichte mit Kumulanten . . .	131
	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	135
	Literaturverzeichnis	139