

Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik  
der Universität Bremen

Band 14

**Sven Olaf Vogeler**

**Verfahren zur Kompensation von Doppler-Einflüssen  
in Mehrträger-Übertragungssystemen**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag  
Aachen 2006

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

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

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006

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

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5336-X  
ISBN-13: 978-3-8322-5336-3  
ISSN 1437-000X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407/95 96 - 0 • Telefax: 02407/95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Verfahren zur Kompensation von Doppler-Einflüssen in Mehrträger-Übertragungssystemen**

Mehrträgerverfahren wie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) stellen bekanntermaßen eine sehr effiziente Lösung für die hochratige Datenübertragung über stark frequenzselektive Kanäle dar, weil sich unter ihrem Einsatz die empfangsseitige Entzerrung der unterschiedlich verzögerten Signalanteile mit relativ geringem Aufwand realisieren lässt. Im Falle von schnellen Bewegungen des Senders bzw. Empfängers kommt es jedoch, insbesondere bei Verwendung hoher Trägerfrequenzen, zu einer starken Beeinträchtigung des Übertragungssystems durch den Doppler-Effekt: Die ursprünglich orthogonalen Subträgerspektren erfahren eine Aufweitung, was zu Störeinflüssen durch Intercarrier-Interferenz führt. Die aus dieser Problematik entstandenen Aufgabenstellungen der vorliegenden Arbeit umfassen daher die Untersuchung bestehender sowie die Entwicklung neuer Verfahren zur Kompensation des Doppler-Einflusses auf die Mehrträgerübertragung, wobei der Schwerpunkt auf OFDM-basierten Übertragungssystemen liegt.

Nach einer einführenden Beschreibung des betrachteten Übertragungssystems und den Auswirkungen des Doppler-Effektes werden Verfahren zur Doppler-Kompensation durch lineare und nichtlineare Entzerrung im Frequenzbereich behandelt. Dies beinhaltet die Untersuchung bzw. Verbesserung bereits bekannter MMSE- und Decision-Feedback-Ansätze im Hinblick auf deren Realisierung durch aufwandsreduzierte Algorithmen. Anschließend wird ein neuer Ansatz, basierend auf einer sortierten QR-Zerlegung der Kanalmatrix, zur Kompensation des Doppler-Einflusses eingeführt, welcher in entsprechenden Simulationsergebnissen eine deutlich bessere Leistungsfähigkeit erzielt als die zuvor betrachteten Verfahren.

Um den bei OFDM-Systemen unter Einfluss von Doppler-Spread stark ausgeprägten Leakage-Effekt zu vermindern, wird eine Mehrträgerübertragung mit verkürzten Gauß-Impulsen betrachtet. Mit Hilfe dieser Methode lässt sich der wesentliche Anteil der von einem Subträger verursachten Intercarrier-Interferenz auf die jeweils direkt benachbarten Subkanäle konzentrieren, was eine Maximum-Likelihood-Detektion der Empfangssymbole mit vergleichsweise geringem Aufwand ermöglicht. Durch Simulationsergebnisse kann gezeigt werden, dass dieses neue Verfahren bei starkem Doppler-Einfluss eine nochmals deutlich bessere Leistungsfähigkeit erzielt, als die zuvor behandelten Entzerrungsmaßnahmen im Frequenzbereich.

Weitere Inhalte der Arbeit beschäftigen sich mit der Schätzung stark zeitvarianter Kanäle auf Basis des zweidimensionalen Wiener-Filters. Mit Hilfe einer neuen Vorgehensweise, deren Ziel es ist, die Zeitvarianz der Übertragungsfunktion innerhalb eines OFDM-Symbols durch lineare Interpolation zwischen den Ausgangswerten des Wiener-Filters zu rekonstruieren, wird die Anwendung der zuvor untersuchten Entzerrungsverfahren unter Berücksichtigung einer realen Kanalschätzung möglich. Mit zusätzlichen Maßnahmen, wie der Einsatz einer iterativen Struktur und die Überabtastung durch das Wiener-Filter, kann eine weitere Verbesserung der Schätzqualität erzielt werden.

Ein alternatives Verfahren zur Doppler-Kompensation auf Basis mehrerer Empfangsantennen ergibt sich durch den ebenfalls in dieser Arbeit behandelten sektorisierten Empfang, welcher die zuverlässige Schätzung des Kanals erheblich erleichtert und mittels implizitem Maximum-Ratio-Combining der Empfangszweige eine gewinnbringende Ausnutzung räumlicher Diversität darstellt.

Um die im Rahmen dieser Arbeit behandelten Verfahren auch unter realistischen Übertragungsbedingungen zu testen, sind in Kooperation mit dem Institut für Höchsthochfrequenztechnik und Elektronik der Universität Karlsruhe aufwändige Simulationen hinsichtlich der Datenübertragung von entlang einer Bahnstrecke angeordneten Basis-Stationen zu einem fahrenden Hochgeschwindigkeitszug durchgeführt worden. Die dabei erzielten Simulationsergebnisse untermauern die Erkenntnis, dass die Möglichkeiten zur Kompensation des Doppler-Effektes im Wesentlichen von der Zuverlässigkeit der Kanalschätzung abhängen, weshalb bei extrem hohen Doppler-Einflüssen Mehrantennenkonzepte wie der in dieser Arbeit vorgestellte sektorisierte Empfang eine sinnvolle Vorgehensweise darstellen.