

Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik  
der Universität Bremen

Band 21

**Peter Klenner**

**Multiple Antenna Doppler-Compensation  
for OFDM Systems**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag  
Aachen 2011

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0108-2

ISSN 1437-000X

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Multiple Antenna Doppler-Compensation for OFDM Systems

Dipl.-Ing. Peter Klenner

The pursuit of high data-rates for users moving with high speeds puts a lot of strain on the underlying data network. Nowadays, OFDM is an established method to overcome the channel's frequency selectivity which is caused by the high signalling rate. It transmits data in narrow frequency bands which are mutually orthogonal. This on the one hand defuses the equalization problem, but on the other hand it causes a prolonged symbol duration. However, the time selectivity of the channel, which is caused by the Doppler effect, leads to a loss of the frequency bands' orthogonality.

This work is concerned with reliable high-rate OFDM data communication between a stationary transmitter and a highly mobile receiver. The key issue is the employment of multiple antennas at the receiver to compensate rapid channel fluctuations caused by the Doppler effect. To this end, known as well as novel techniques based on a uniform linear antenna array are presented and discussed. Those methods, on the one hand, exploit the relationship between angle of incidence and Doppler shift of impinging waves, such that limiting the range of incidence angles leads to a reduction of time selectivity. On the other hand, the correlation between the received signals of all antennas can be exploited to generate seemingly non-moving antennas.

From the essential theory of MIMO systems certain figures of merit emerge, which allow to dimension the linear antenna array and the consecutive signal processing. Furthermore, the problem of combining the task of Doppler spread compensation and MIMO communication is addressed. Here, the well-known BLAST scheme to increase the data rate and the Alamouti space-time code to increase transmit diversity are considered. Moreover, the tradeoff of spatial diversity for the ability of efficient Doppler spread compensation is discussed. It is shown, that based on a linear antenna array a reduction of the channel's time selectivity can be achieved to allow for reliable data transmission even with high-level modulation alphabets and extreme speed of the user.

In addition, the problem of synchronization in time and frequency with respect to rapid channel variations is considered. A novel heuristic is derived from a well-known Maximum-Likelihood approach, which allows bandwidth-efficient and reliable synchronisation.

To compare and assess the performance of all methods a receiver with widely-spaced antennas is employed. Due to the assumption of independent channel impulse responses they provided basic receive diversity without any further means of Doppler compensation.

## Mehr-Antennen Dopplerkompensation für OFDM-Systeme

Dipl.-Ing. Peter Klenner

Der Wunsch nach hohen Datenraten bei gleichzeitig hoher Mobilität eines Mobilfunknutzers stellt große Ansprüche an das zugrundeliegende Datennetz. Um die durch die hohe Signalisierungsrate verursachte Frequenzselektivität des Übertragungskanals zu bewältigen, hat sich das bekannte OFDM-Verfahren durchgesetzt. Dieses übermittelt Daten in schmalen Frequenzbändern, die zueinander orthogonal sind. Dadurch wird zwar einerseits die Entzerrungsproblematik entschärft, aber andererseits verlängert sich dadurch die Dauer eines Symbols. Jetzt wird die Zeitselektivität des Kanals, die durch den Dopplereffekt verursacht wird, zum Problem, da die Orthogonalität der Frequenzbänder verloren geht.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der zuverlässigen hochratigen OFDM-Datenkommunikation zwischen einer stationären Senderstation und einer hochmobilen Empfangsstation. Der wesentliche Kernpunkt ist die Anwendung mehrerer Antennen am Empfänger, um die durch den Dopplereffekt verursachten schnellen Kanalveränderungen zu kompensieren. Zu diesem Zweck werden bekannte und neue Verfahren basierend auf einer linearen Antennengruppe vorgestellt und diskutiert. Diese Verfahren basieren einerseits auf der Beziehung von Einfallswinkel und Dopplerfrequenz einfallender Wellen, so dass die Begrenzung der möglichen Einfallswinkel zu einer Reduzierung der Zeitselektivität genutzt werden kann. Andererseits können die Korrelationen zwischen den Empfangssignalen aller Antennen genutzt werden, um virtuell stillstehende Antennen zu erzeugen.

Aus der Behandlung der wesentlichen Theorie von MIMO-Systemen gehen Leistungsmaße hervor, mit deren Hilfe die Antennengruppe und die daran anschließende Signalverarbeitung dimensioniert werden. Weiterhin wird die Fragestellung behandelt, wie die Aufgaben der Dopplerkompensation mit denen der MIMO-Kommunikation verbunden werden können. Hierbei werden insbesondere der bekannte BLAST Ansatz zur Steigerung der Datenrate und der Alamouti Space-Time Code zur Erhöhung der Sendediversität betrachtet. Außerdem wird der Frage nachgegangen, inwieweit der Austausch von räumlicher Diversität gegen die Möglichkeit effektiver Dopplerkompensation gewinnbringend wirkt. Es wird gezeigt, dass auf Basis linearer Antennengruppen eine Reduktion der Zeitselektivität des Kanals bewirkt werden kann, so dass eine zuverlässige Datenübertragung selbst bei hohen Modulationsstufigkeiten und bei extremen Geschwindigkeiten ermöglicht wird.

Ferner wird das Problem der Synchronisation in Zeit und Frequenz unter dem Aspekt rascher Kanalveränderungen bedacht, wobei aus dem bekannten Maximum-Likelihood Ansatz eine neue Heuristik entwickelt wird, die bandbreiteneffiziente und zuverlässige Synchronisation erlaubt.

Zum Vergleich und zur Bewertung der Leistungsfähigkeit aller Verfahren wird ein Empfänger mit mehreren Antennen, die eine große Distanz zueinander besitzen, herangezogen. Durch die Annahme unabhängiger Kanalimpulsantworten stellen diese einfache Empfangsdiversität bereit, ohne weitere Möglichkeiten der Dopplerkompensation zu bieten.