

Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik
der Universität Bremen

Band 23

Carsten Bockelmann

Robust Link Adaptation in Coded OFDM Systems

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2012

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., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

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 978-3-8440-0913-2

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 • e-mail: info@shaker.de

Robust Link Adaptation in Coded OFDM Systems

Carsten Bockelmann

12. Dezember 2011

Die Optimierung von Kommunikationssystemen gewinnt zunehmend an Bedeutung durch den weiter wachsenden Bedarf an Datenraten getrieben durch Internetnutzung, Videostreams und stark wachsenden Smarthphonezahlen. Zu diesem Zweck werden gewöhnlich sogenannte Link Adaptation-Verfahren eingesetzt, um das Sendesignal am Sender an den Übertragungskanal anzupassen und diesen somit konstruktiv zu nutzen. Die bekannten Verfahren missachten allerdings den erheblichen Einfluss von Kanalcodierung auf die Leistungsfähigkeit des Systems. Daher ist es das Ziel dieser Arbeit Link Adaptation-Konzepte zu entwickeln, die eine Kanalcodierung im Design berücksichtigen, um so die Leistungsfähigkeit von Mehrantennen-OFDM-Systemen weiter zu steigern.

Zunächst werden die Grundlagen bzgl. Mehrantennen-OFDM-Systemen, Kanalcodierung, Modulation und (Vor-)Entzerrungsverfahren eingeführt. Darauf folgen Basisannahmen zum Übertragungskanal und der Kanalkennntnis an Sender und Empfänger. Ein Überblick über informationstheoretische Konzepte, die zur Formulierung der Link Adaptation-Algorithmen benötigt werden und zwei Näherungen zur geschlossenen Beschreibung der so genannten CM und BICM Kapazitäten schließt den einführenden Teil der Arbeit ab.

Der Hauptteil der vorliegenden Dissertation beschäftigt sich mit dem Problem der Link Adaptation in OFDM Systemen mit einer Sende- und Empfangsantenne. Als erstes wird das Basisoptimierungsproblem formuliert und auf die Anforderungen von kanalcodierten Systemen angepasst. Eine wichtige Beobachtung ist hierbei die Bedeutung der Coderate des Kanalcodes. Es wird gezeigt, dass eine angepasste Coderate die Gesamtleistungsfähigkeit des Systems bedeutend verbessern kann und daher eine Hauptanforderung an Link Adaptation-Algorithmen darstellt. Die entsprechend entwickelten Algorithmen zeigen erhebliche Gewinne für schwächere Kanalcodes im Vergleich zu klassischen Lösungen, wohingegen sogenannte "kapazitätserreichende" Kanalcodes kaum Raum für Verbesserungen lassen. Weiterhin wird eine gestörte Kanalkennntnis berücksichtigt und algorithmische Anpassungen entwickelt, die eine verbesserte Robustheit zeigen und den auftretenden Leistungsverlust auf den nicht-adaptiven Fall begrenzen.

Im Anschluss werden Konzepte für Mehrantennen-OFDM Systeme diskutiert. Zum einen erfolgt die Anwendung der Algorithmen für eine Antenne durch Zerlegung des Mehrantennenkanals und zum anderen wird die Erweiterung durch nichtlineare Detektoren und räumliche Übertragungskonzepte erläutert. Schließlich wird die Umsetzung eines Link Adaptation-Verfahrens auf einer Demonstratorhardware präsentiert. Die hierbei erzielten Messergebnisse zeigen, dass auch bei einfacher Synchronisierung und Kanalschätzung bereits Gewinne durch die neuen Verfahren erzielt werden können.

Zusammenfassend ermöglicht diese Dissertation neue Einsichten in das Thema der Link Adaptation in kanalcodierten Systemen und die hierfür benötigten Leistungsmaße. Auf der einen Seite werden Kapazitätsnäherungen und statistische Eigenschaften der Kapazitätsverteilung bei imperfekter Kanalkennntnis aufgezeigt und auf der anderen Seite neue Algorithmen zur Optimierung der Leistungsfähigkeit von Ein- wie Mehrantennensystemen unter der Annahme perfekter und gestörter Kanalkennntnis.

Robust Link Adaptation in Coded OFDM Systems

Carsten Bockelmann

December 12, 2011

With the growing data rate demand in today's society driven by an ever present internet, video streaming and quickly growing smartphone usage, the optimization of communications systems gets increasingly important. So-called Link Adaptation concepts are usually applied to adapt the signal at the transmitter to the channel in order to use the channel's effect constructively rather than correct its destructive influence on the signal. However, traditional Link Adaptation schemes do not consider channel coding in their design. Still, channel codes are a very important and ubiquitous component in nearly all digital systems, which effects the overall error rate performance greatly. Thus, the aim of this thesis is to devise advanced Link Adaptation concepts that include channel coding into their design to further enhance the performance of multi-antenna OFDM systems.

First, the necessary fundamentals are introduced including the overall system model for multi-antenna OFDM systems, basics on channel coding and modulation as well as precoding and equalization techniques. Furthermore, the basic assumptions with respect to the transmission channel and channel state information (CSI) are detailed. Then a concise overview of the information theoretic concepts required to formulate the Link Adaptation algorithms and two approximations to describe the coded modulation (CM) and bit interleaved coded modulation (BICM) capacity in closed form, respectively, are presented.

The main part of this thesis discusses the problem of Link Adaptation in single antenna OFDM systems under the assumption of channel coding. First, the basic Link Adaptation problems are stated and subsequently modified to include the requirements of channel coded communication systems. A major observation is the importance of the right code rate choice. It is shown that an optimized code rate improves the overall performance greatly and thus has to be seen as a major requirement for Link Adaptation algorithms. The newly developed algorithms show considerable gains for weaker channel codes in comparison to classic Link Adaptation while capacity approaching codes are already too strong to allow for much further gains even with code rate adaptation. Also, imperfect CSI is considered and algorithmic modifications are formulated that achieve gains in robustness and a worst case performance bounded by the non-adaptive case.

Afterwards Link Adaptation concepts for multi-antenna OFDM systems are discussed. The application of algorithms for single-antenna systems by decomposition of the channel as well as an extension to non-linear receivers and spatial transmission modes are illustrated. Finally, one Link Adaptation approach is applied to a hardware demonstrator. The obtained measurement results clearly show that also under practical conditions with very basic synchronization and estimation techniques the inclusion of channel coding into the Link Adaptation provides relevant gains.

Overall, this thesis provides new insights into Link Adaptation of channel coded systems and the required figures of merit to describe the system's performance. On the one hand, capacity approximations and statistical properties under the assumption of imperfect CSI are presented and on the other hand, new algorithms to optimize the performance of SISO as well as MIMO systems given perfect and imperfect CSI.