

System Performance Gains from Smart Antenna Concepts in CDMA

Vom Fachbereich Ingenieurwissenschaften
der Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Mirko Schacht

aus Idar-Oberstein

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Jung

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Mitschele-Thiel

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 2004

Selected Topics in Communications Technologies

Mirko Schacht

**System Performance Gains
from Smart Antenna Concepts in CDMA**

Shaker Verlag
Aachen 2005

Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data is available in the internet at <http://dnb.ddb.de>.

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2005

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 3-8322-3700-3
ISSN 1860-2800

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Acknowledgement

I would like to thank my doctoral advisor Prof. Peter Jung for his invaluable guidance and motivation. Without his unfailing encouragement the present work would not have been achieved. Furthermore, the important role of my second advisor Prof. Andreas Mitschele-Thiel is much valued.

Many thanks to Michael Doubrava, Dr. Michael Soellner and Dr. Said Tastesh for providing a conducive working environment and for their support during the preparation of the thesis.

Grateful I am to all my colleagues at Lucent Technologies for their many thoughtful discussions. Special thanks are dedicated to Dr. Armin Dekorsy, Dr. Enrico Jugl and Dr. Jens Mueckenheim for their significant guidance and critical review of the work. Very valuable was Juergen Kettschau's patience and help with the programming work.

I am also thankful to Prof. Hosticka, Prof. Ding and Prof. Hunger, who allowed together with my direct advisors for a fair and challenging disputation and viva voce.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Effekte intelligenter Antennenkonzepte in der Abwärtsstrecke von Mobilfunksystemen der dritten Generation (3G) untersucht. Die aktuell in der Literatur und Standardisierung diskutierten räumlichen Übertragungskonzepte hinsichtlich Diversitäts- und Strahlformungstechnologien werden zusammengefasst und ihr mathematischer Hintergrund hergeleitet. Zwei in Betracht gezogene intelligente Antennenkonzepte sind teilnehmerspezifische oder adaptive Strahlformung bzw. Strahlumschaltung, bei der innerhalb einer begrenzten Auswahl vorgeformter Antennendiagramme umgeschaltet wird. Zur Strahlformung dienen an den Basisstationen angebrachte Antennenfelder. Zellulare Mobilfunknetze mit in hexagonalen Strukturen angeordneten Basisstationsstandorten, die in drei bzw. sechs Zellen unerteilt sind, bilden die Grundlage der Untersuchungen.

Die Kapazität der Abwärtsstrecke von 3G-Systemen wird getrennt in den Bereichen der leitungsvermittelten und paketvermittelten Übertragung betrachtet. Während die Teilnehmer im leitungsvermittelten Bereich permanent Funkressourcen belegen, wird im paketvermittelten Bereich die Funkressource unter den Teilnehmern durch Zeitmultiplexverfahren aufgeteilt, sogenanntes Scheduling. Die Systemkapazität wird dabei im leitungsvermittelten Bereich als die Anzahl maximal versorgbarer Teilnehmer mit einem bestimmten Datendienst verstanden. Im paketvermittelten Bereich wird die Systemkapazität als mittlerer Datendurchsatz, den eine Gruppe von Teilnehmern in einem zeitlich begrenzten Serviceintervall erhält, ausgedrückt.

In den Betrachtungen erfolgt die Verwaltung der Radioressourcen in Form von Algorithmen, die in 3G-Systemen zum Einsatz kommen, wie z.B. Leistungskontrolle, Lastkontrolle, Ratenanpassung und Scheduling. Es wird gezeigt, dass intelligente Antennenkonzepte signifikante Auswirkungen auf die Systemkapazität von 3G-Systemen haben. Geht man beispielsweise von vier Antennenelementen an der Basisstation aus, so kann die Systemkapazität etwa verdoppelt werden. Im paketvermittelten Bereich bietet sich durch Einführung intelligenter Antennen die Möglichkeit, räumliche Teilnehmerinformationen in die Zeitmultiplexverfahren mit einzubeziehen. Dieses wird in dieser Arbeit in einem ersten Schritt untersucht und aufgezeigt, dass hier weiteres Steigerungspotential hinsichtlich der Systemkapazität vorhanden ist. Systemsimulationen zeigen, dass durch einen vorgeschlagenen Algorithmus ein Systemkapazitätsgewinn von weiteren ca. 30% erzielt werden kann. Die Arbeit zeigt das enorme Potential intelligenter Antennen auf, die in zukünftigen Systemen zum Einsatz kommen werden und beleuchtet den neuen Aspekt der Raum-Zeit-Multiplexverfahren in der paketvermittelten Übertragung.

Abstract

In this work the effect of smart antenna technologies on third generation mobile communication systems (3G) with regard to system capacity in the downlink is investigated. An overview of the state-of-the-art spatial transmission concepts utilizing several antenna elements at the base station is provided. Two smart antenna concepts adaptive or user specific beamforming and fixed beam switching, where beams are chosen from a preformed set, are introduced. Their mathematical background and implementation in third generation radio systems is elaborated. Beamforming is carried out by deploying antenna arrays at the base stations and array processing allowing spatial multiplexing. Cellular networks with hexagonal sites that are subdivided in three and six sectors or cells form the basis for the investigations. System capacity is examined for circuit switched and packet switched transmission separately. While users occupy radio resources permanently in a connection oriented manner in the circuit switched domain, radio resources are shared between users by time multiplexing in the packet switched domain using scheduling algorithms. In the circuit switched domain system capacity is examined in terms of the number of simultaneously servable users. In the packet switched domain system capacity is evaluated as average data throughput that users receive during a service time interval.

Radio resource management algorithms utilized in 3G-systems are taken into account, as for instance power control, load control, rate control and packet scheduling. It is shown that the beamforming concepts provide significant system capacity gain. When four antenna elements are used at the base station, the system capacity can be doubled with regard to three sector sites in the circuit as well as in the packet switched domain. In the packet switched domain, when scheduling algorithms are utilized further opportunities arise to consider spatial user information in the scheduling decisions. This new aspect is introduced and examined, by system level simulations it is shown that further gains of up to 30% in data throughput can be reached when using a new windowing algorithm introduced. In summary, this work demonstrates high potential that can be expected from using antenna arrays in 3G systems and introduces a new approach of considering spatial user information in scheduling decisions.

Contents

1	Introduction	8
1.1	Motivation	8
1.2	Overview	11
1.3	Own Contribution	12
2	Transmission Model: MIMO Channels	13
2.1	Overview	13
2.2	General Considerations	15
2.3	Uplink Transmission	22
2.4	Downlink Transmission	29
3	State of the Art Spatial Concepts	33
3.1	Overview	33
3.2	Sectorization	35
3.3	Basic Principle of Diversity	37
3.3.1	Transmit Diversity Concepts	41
3.3.2	Receive Diversity	53
3.3.3	Diversity Concepts Summary	55
3.4	Antenna Array Processing	56
3.5	Multiple Input and Multiple Output (MIMO) Transmission	59

3.6	Linear Spatial Processing	61
3.7	Channel Capacities	65
4	Adaptive Beamforming and Beam Switching	73
4.1	Overview	73
4.2	Adaptive or User Specific Beamforming	76
4.3	Fixed Beam Switching	81
4.4	Comparison and Examples	84
5	CDMA System Level Aspects	90
5.1	Overview	90
5.2	Power Control	91
5.3	Beamforming and Power Control	101
5.3.1	Overview	101
5.3.2	General Problem	101
5.3.3	Wiener Approach	103
5.3.4	Iterative Solution	104
5.3.5	Practical Approach	105
5.4	Load Control	107
5.5	Spatial Channel Model	109
5.6	Data Transmission on Dedicated Channels	115
6	Data Transmission on Shared Channels	123
6.1	Overview	123
6.2	Transmission Model	124
6.3	Simulation and Results	137
6.4	Scheduling and Beamforming	147
6.4.1	Windowing for FBS	147

6.4.2 Windowing for ABF	151
6.5 Conclusion	155
7 Summary and Outlook	156
A Abbreviations	158
B Mathematical Expressions, Parameters	161
Bibliography	172