

IDMA-based Relaying for Future Mobile Communication Systems

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt dem Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik)

der Universität Bremen

von

Dipl.-Ing. Florian Lenkeit

Tag des öffentlichen Kolloquiums: 19.12.2016

Gutachter der Dissertation: Prof. Dr.-Ing. A. Dekorsy
Prof. Dr.-Ing. S. ten Brink

Weitere Prüfer: Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer
Prof. Dr. A. Förster



Universität
Bremen

Bremen, Januar 2017

Dissertationen aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik der
Universität Bremen

Band 3

Florian Lenkeit

**IDMA-based Relaying for Future Mobile
Communication Systems**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2017

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., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

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 978-3-8440-5137-7

ISSN 2366-276X

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

Preface

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

Mein ausdrücklicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Armin Dekorsy dafür, dass er mir die Promotion ermöglichte und mich die dafür notwendige Forschungstätigkeit stets in großer Eigenverantwortung betreiben ließ. Er war es auch, der mich in den vergangenen Jahren pausenlos ermutigte, mich über die eigene Arbeit hinaus auf zahlreichen internationalen Konferenzen mit Kollegen weltweit auszutauschen, wodurch ich nicht nur meinen fachlichen Horizont erweitern, sondern auch in erheblichem Maße persönlich wachsen konnte.

Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Stephan ten Brink von der Universität Stuttgart für die Erstellung des Zweitgutachtens und seine wertvollen Anmerkungen zu dieser Arbeit sowie bei Herrn Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer und Frau Prof. Dr. A. Förster für ihre Tätigkeit als Prüfer.

Für das sehr angenehme und freundschaftliche Arbeitsklima über die Jahre danke ich sämtlichen Kollegen. Den Herren Dr.-Ing. Dirk Wübben, Dr.-Ing. Carsten Bockelmann, MSc. Fabian Monsees und Dipl.-Ing. Matthias Woltering gilt zusätzlich mein Dank für zahlreiche fachliche Diskussionen und Anregungen, die diese Arbeit in nicht unerheblichem Maße bereichert haben. Ihnen sowie Herrn Dipl.-Ing. Ban-Sok Shin bin ich weiterhin verbunden für die sorgsame Durchsicht des dieser Arbeit zugrundeliegenden Manuskripts. Darüber hinaus danke ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie der Europäischen Union für die Finanzierung meiner Forschungstätigkeit.

Zuletzt möchte ich mich herzlichst bei meiner Familie und insbesondere meinen Eltern bedanken, die seit jeher hinter mir stehen und mich in meinen beruflichen Entscheidungen stets bekräftigt haben. Ohne ihren Rückhalt

wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen. Großer Dank gebührt auch meiner Freundin Arline, die mir vor allem in den letzten Monaten eine unverzichtbare moralische Stütze war und ihre eigenen Belange oft den meinen hintenan gestellt hat.

Bremen, Januar 2017

Florian Lenkeit

Contents

Preface	III
1 Introduction	1
1.1 Motivation and Focus	1
1.2 Main Contributions	4
1.3 Thesis Structure	6
1.4 Conventions and Nomenclature	8
2 Interleave Division Multiple Access	11
2.1 Overview	11
2.2 System Overview	12
2.2.1 System Modeling	13
2.2.2 Transmitter	13
2.2.3 Channel Modeling	16
2.2.4 Receiver	19
2.3 Channel Coding	21
2.3.1 Applied Channel Codes	23
2.3.2 Performance Comparison	28
2.3.3 Masking	30
2.4 Interleaving	30
2.5 Mapping	32
2.6 Power and Phase Allocation	33
2.6.1 Power Allocation	33
2.6.2 Phase Allocation	34
2.7 Performance Measures	36
2.8 Multi-Layer Detection Schemes	37
2.8.1 Overview	37
2.8.2 Optimal MAP-based MLD	38
2.8.3 MLD based on Interference Cancellation	40
2.8.4 Performance Comparison	46

2.9	Detection Reliability	47
2.10	Chapter Summary	51
3	Code Design for IDMA	53
3.1	Overview	53
3.2	Convergence Analysis	55
3.2.1	Variance Transfer	56
3.2.2	Extrinsic Information Transfer	65
3.3	Area Property and Curve Fitting	69
3.3.1	Overview	69
3.3.2	Validity for IDMA	69
3.3.3	Conclusions for Practical Code Design	71
3.4	EXIT-Chart Aided IRA Code Design	72
3.4.1	Overview	72
3.4.2	MLDacc Scheduling	74
3.4.3	IRA Scheduling	82
3.4.4	Performance Comparison	89
3.5	Global Rate Maximization	93
3.5.1	Modulation and Coding Schemes	93
3.5.2	Individual Rate Targets	97
3.6	Chapter Summary	101
4	IDMA-based Unidirectional Relaying	103
4.1	Overview	103
4.2	Extended System Model	107
4.2.1	Extended Channel Model	108
4.3	Distributed IDM Space-Time Coding	108
4.3.1	Source and Relay Processing	109
4.3.2	Conventional IDM-STC Detection	111
4.3.3	Adaptive Relaying	113
4.3.4	Reliability-Aware Iterative Detection	113
4.3.5	Performance Comparison	120
4.4	Virtual Full-Duplex Distributed IDM Space-Time Coding	125
4.4.1	Overview and Principle Idea	125
4.4.2	Individual System Aspects	128
4.4.3	Performance Evaluation	131
4.4.4	Code Adaptation	135
4.4.5	Extension to Multiple Relays	138
4.5	Chapter Summary	141
5	IDMA-based Bidirectional Relaying	145
5.1	Overview	145

5.2	Extended System Model	147
5.2.1	Transmission Phases	148
5.3	Physical Layer Network Coding	151
5.3.1	Basics and Detection Approaches	151
5.3.2	Hybrid IDMA-PLNC Detection	157
5.4	Code Adaptation	165
5.4.1	Symmetric Rate Targets	166
5.4.2	Asymmetric Rate Targets	170
5.5	Chapter Summary	179
6	Performance Evaluation in the Madrid Grid	181
6.1	Overview	181
6.2	System Model	182
6.2.1	Topology	182
6.2.2	Channel Modeling	184
6.2.3	System Parameters	188
6.3	Scenario 1: Unidirectional Relaying	191
6.3.1	Simulation Setup	191
6.3.2	Simulation Procedure	191
6.3.3	IDMA Systems	194
6.3.4	Benchmark OFDMA System	194
6.3.5	Results	195
6.4	Scenario 2: Bidirectional Relaying	201
6.4.1	Simulation Setup	201
6.4.2	Simulation Procedure	202
6.4.3	IDMA System Optimization	204
6.4.4	Benchmark OFDMA System	206
6.4.5	Results	209
6.5	Chapter Summary	212
7	Summary	215
A	Basics of Information Theory	221
A.1	Mutual Information and Capacity	221
A.1.1	Mutual Information	221
A.1.2	Channel Capacity	221
A.1.3	IDMA System Capacity	222
A.2	Log-Likelihood-Ratios	224
B	Detection of Distributed IDM-Space-Time Codes	227
B.1	RAID of dIDM-STC	227
B.1.1	Pseudo Code	227

B.1.2	Weighting Function	229
B.2	Virtual Full-Duplex dIDM-STC	231
B.2.1	Pseudo Code	231
C	Channel Codes	233
C.1	Irregular Repeat-Accumulate Codes	233
C.2	Repetition Codes over GF4	238
C.3	Convolutional Codes over GF4	240
	Acronyms	243
	List of Symbols	247
	Bibliography	255
	Index	267