

**Entwurf von Kommunikationsendgeräten
mit empfängerseitiger
irregulärer Signaldarstellung
für Funksysteme mit
asymmetrischer Lastenverteilung**

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der

Universität Duisburg-Essen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Admir Burnic

aus Sanski Most

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

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Fettweis

Tag der mündlichen Prüfung: 30.11.2010

Selected Topics in Communications Technologies

Admir Burnic

**Entwurf von Kommunikationsendgeräten mit
empfängerseitiger irregulärer Signaldarstellung für
Funksysteme mit asymmetrischer Lastenverteilung**

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2011

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9980-4

ISSN 1860-2800

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Jung, dem Leiter des Lehrstuhls für Kommunikationstechnik der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen und dem Referenten der vorliegenden Arbeit spreche ich einen besonderen und herzlichen Dank für eine engagierte Betreuung aus. Seine kritischer Blick, die konstruktive Diskussionen, Anregungen und Vorschläge waren die Unterstützung, die der vorliegenden Arbeit Form gaben und sie zum Gelingen führten.

Für die Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats dieser Dissertation spreche ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerhard Fettweis meinen Dank aus. Als Leiter des Vodafone-Lehrstuhls Mobile Nachrichtensysteme an der technischen Universität Dresden stand er meiner Arbeit offen und hilfreich zur Seite.

Für viele fachliche Diskussionen und eine kollegiale Atmosphäre danke ich allen heutigen und ehemaligen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Kommunikationstechnik: Mohammed A. A. Al-Olofi, Heribert Annen, Zijian Bai, Guido Bruck, Barbara Clausen, Prof. em. Dr. Gerhard Dickopp, Amr Eltahir, Thomas Faber, Friedrich Fehr, Barbara Frischemeier, Arjang Hessamian-Alinejad, Sabine Jankowski, Christian Kocks, Erika Pauli, Sebastian Rickers, Ernest Scheiber, Achim Seebens, Dietrich Schwarz, Andrey Skrebtsov, Christoph Spiegel, Alexander Viessmann, Andreas Waadt, Shangbo Wang und Dong Xu.

Für die Unterstützung bei der Fertigung und Bestückung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelter Leiterplatten danke ich der Leitung und den Mitarbeitern der Elektronik-Werkstatt herzlich.

Allen Industriepartnern des Fachgebiets Kommunikationstechnik und ihren Mitarbeitern spreche ich für zahlreiche Anregungen meinen Dank aus. Insbesondere sind das die Teammitgliedern des 3G Standards R&D Lab der Firma Samsung Electronics in Suwon / Korea, die der Firma Rhode und Schwartz und der Firma AIRBUS.

Ich bedanke mich bei meiner Ehefrau Stefanie die mich durch Ihr Verständnis und Geduld unterstützte. Zuletzt und im Besonderen gilt mein Dank meinen Eltern Ekrem, Esefa und meiner Schwester Admira die mich zu diesem formten und mir bei allem Kraft und Beistand gaben.

Duisburg, 2010

Admir Burnic

für meinen Vater

Übersicht

Die Mobilität und die Abrufbarkeit der Information zur einem beliebigen Zeitpunkt und an einem beliebigen Ort ist nicht mehr nur Stand der Technik, beides wird mittlerweile gelebt. In den letzten Jahren ist sogar die Anzahl von mobilen, drahtlosen Kommunikationsendgeräten größer als die Anzahl der festinstallierten, drahtgebundenen Kommunikationsendgeräte geworden. Zudem wird durch den immer größer werdenden Datenhunger unserer Gesellschaft das Verlangen nach größer werdenden Datenraten und der Bedarf an kleineren und kompakteren Kommunikationsendgeräten weiter erhöht.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Maßnahmen zum Vereinfachen und Verkleinern drahtloser Kommunikationsendgeräte untersucht. Die betrachteten Maßnahmen wurden auf die Bitübertragungsschicht der Kommunikationsendgeräte angewendet. Sie beziehen sich sowohl auf die Sende- als auch auf die Empfangsrichtung.

In der Senderichtung wurde das gemeinsame Senden betrachtet. Der Verfasser der vorliegenden Arbeit kombiniert erstmalig das gemeinsame Senden mit der Signaldarstellung im Frequenzbereich, um eine Reduktion des Implementierungs- und Leistungsaufwands in Kommunikationsendgeräten zu erzielen, ohne dabei den Aufwand in Sendern merklich zu erhöhen.

In der Empfangsrichtung wurde die irreguläre Signaldarstellung auf Signale mit einer höherstufigen Modulation angewendet. Insbesondere erweitert der Autor das allgemeine Prinzip der empfängerseitigen irregulären Signaldarstellung auf die höherstufigen Modulationsarten 16-QAM, 32-Kreuz-QAM und 64-QAM.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht der Verfasser darüber hinaus die Übertragungsqualität unter Verwendung des gemeinsamen Sendens mit der Signaldarstellung im Frequenzbereich und mit der empfängerseitigen irregulären Signaldarstellung. Die mit Simulationen ermittelte Übertragungsqualität wurde vom Autor mit der mit dem echtzeitfähigen HAWK-SXD-Demonstrator erzielten Übertragungsqualität verglichen.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Algorithmen zum gemeinsamen Senden und die empfängerseitige irreguläre Signaldarstellung hat der Autor erstmalig in einem echtzeitfähigen HAWK-SXD-Demonstrator realisiert, wodurch deren Machbarkeit endgültig nachgewiesen wurde.

Abstract

The mobility and accessibility of information "at any time" and "at any place" is not only state of the art, meanwhile both of them are a part of our way of life. Recently, the number of mobile, wireless communication devices has become greater than the number of wired communication devices. Furthermore the amount of requested data is increasing. This results in the demand for increasing data rates and the need for smaller and more compact communication devices.

Within the scope of this thesis the measures for simplifying wireless communication devices and reducing their complexity have been studied. These measures have been applied to the physical layer of wireless communication devices. They are related to the transmit direction and to the receive direction as well.

In the downlink joint transmission has been investigated. For the first time, the author combines joint transmission with the signal representation in the frequency domain. The reduction of the implementation efforts in the mobile, wireless communication devices and their power consumption is achieved without large increase of efforts at the transmitter side.

On the receive side irregular signal representation has been applied to signals with higher-order modulated signals for the first time. The author extends the general principle of irregular signal representation in the receiver to higher-order modulation, in particular on 16-QAM, 32-Cross-QAM and 64-QAM.

Within the scope of this thesis, also the quality of service (QoS) using joint transmission along with signal representation in the frequency domain in the transmitter and using irregular signal representation in the receiver has been studied. For this purpose the QoS achieved by HAWK-SXD real-time demonstrator is compared to the QoS achieved by a simulator.

The feasibility of the joint transmission and of the irregular signal representation proposed by the author has found its final proof in the HAWK-SXD real-time demonstrator.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklung der drahtlosen Kommunikationssysteme und deren Zukunftsaussichten	1
1.2	Kommunikationsendgeräte	11
1.2.1	Eigenschaften	11
1.2.2	Drahtlose Mehrteilnehmersysteme	23
1.2.3	Lastenverteilung in Kommunikationsendgeräten	25
1.3	Maßnahmen zur Verringerung der Aufwände in Kommunikationsendgeräten	33
1.3.1	Neuartige empfängerseitige irreguläre Signaldarstellung	33
1.3.2	Gemeinsames Sendens in Basisstationen	36
1.4	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	40
1.4.1	Ziel und Aktivitäten	40
1.4.2	Gliederung der Arbeit	41
2	Entwurf von Kommunikationsendgeräten	43
2.1	Einleitung	43
2.2	Symmetrische und asymmetrische Lastenverteilung	44
2.3	Signalverarbeitung bei symmetrischer Lastenverteilung	46
2.3.1	Verallgemeinerte mathematische Modellierung der Abwärtsstrecke	46
2.3.2	Sender der DS-CDMA- Abwärtsstrecke	50
2.3.3	Sender der OFDMA-Abwärtsstrecke	52
2.3.4	Sender der OFDMA-CDMA-Abwärtsstrecke	54
2.3.5	Sender der FFH/OFDMA-CDMA-Abwärtsstrecke	55
2.3.6	Sender der SC-Abwärtsstrecke	57
2.3.7	Mathematische Modellierung des Empfangssignals in der Abwärtsstrecke	58

2.3.8	Datendetektion in der Abwärtsstrecke	60
2.4	Asymmetrische Lastenverteilung durch gemeinsames Senden	64
2.4.1	Funksysteme mit gemeinsamem Senden	64
2.4.2	Veranschaulichung des gemeinsamen Sendens	68
2.4.3	Neuartige Verfahren zum gemeinsamen Senden	69
2.4.4	Aufwand im Sender	80
2.4.5	Leistungsfähigkeit der neuartiger Verfahren zum gemeinsamen Senden	84
2.5	Resultierende Sender- und Empfängerstrukturen und die Konsequenzen für die Funksysteme	98
3	Irreguläre Abtastung	101
3.1	Einleitung	101
3.2	Schwellwertdurchgangsdetektion	102
3.3	Wahl des Skalierungsfaktors	112
3.4	Leistungsfähigkeit der Kommunikationsendgeräte mit neuartiger irregulärer Signaldarstellung	118
4	Realisierung des HAWK-SXD Demonstrators	129
4.1	Übersicht	129
4.2	Konzept und Aufbau des HAWK-SXD-Demonstrators	131
4.3	Übertragungsqualität	147
4.3.1	Gemeinsames Senden	147
4.3.2	Schwellwertdurchgangsdetektion	152
5	Zusammenfassung und Ausblick	163
5.1	Zusammenfassung	163
5.2	Ausblick	164
A	Ergänzende Bemerkungen	167
A 1	Leistungsfähigkeit der auf dem MF-Prinzip basierender Kommunikationsendgeräte	167

A 2 Leistungsfähigkeit der auf dem ZF-Prinzip basierender Kommunikationsendgeräte	169
Schrifttum	173
Bildverzeichnis	201
Tabellenverzeichnis	207
Häufig verwendete Abkürzungen	209
Häufig verwendete Größen und Symbole	217
Glossar	223