

## Informations- und Codierungstheorie

Die **Forschungsaktivitäten** der Arbeitsgruppe Informations- und Codierungstheorie (ICT) der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel umfassen drahtlose, digitale Übertragungstechniken. Zu den Kernkompetenzen zählen die Fachgebiete Kanalcodierung/ decodierung (Turbo-Codes, Decodierung mit Zuverlässigkeitsinformation, Space-Time-Codes), angewandte Informationstheorie, digitale Modulationsverfahren (adaptive Modulations- und Codierverfahren, IDM, OFDM, DS-CDMA, IDMA), die gemeinsame Kommunikation und Navigation, sowie die Entwicklung von modernen Empfängeralgorithmen (Entzerrung, Kanalschätzung, Synchronisation, Interferenzunterdrückung). Zu den Anwendungsgebieten zählen terrestrische Mobilfunksysteme (GSM, EDGE, UMTS, WLAN, nächste Mobilfunkgeneration), akustische Unterwasserkommunikationssysteme, Satellitenmobilfunksysteme sowie digitale Rundfunk- und Fernsehsysteme. Ein Highlight war die Entwicklung und Untersuchung eines gemeinsamen Modulations- und Kanalcodierverfahrens.

Die Arbeitsgruppe ICT ist Mitglied des Wireless World Research Forums (WWRF), des Australian Communications Research Network (ACoRN) und des Exzellenzclusters "Ozean der Zukunft" der CAU.

In der **Lehre** werden die Fächer Kanalcodierung, Informationstheorie und Mobilfunkkommunikation I+II angeboten, zum Teil auch in englischer Sprache im Rahmen des internationalen Masterstudiengangs "Digital Communications". Desweiteren werden Vorlesungen zu System Identification und Digital Satellite Communications in Form von Lehraufträgen angeboten. Seminare und Praktika runden das Lehrangebot ab.

### Results

#### **Gemeinsame Kommunikation und Navigation**

Sowohl Kommunikation als auch Navigation haben einen hohen Stellenwert in unserem täglichen Leben. Historisch gesehen haben sich Kommunikations- und Navigationssysteme weitgehend unabhängig voneinander entwickelt. Als allgemein bekannte Beispiele seien hier das Global System for Mobile Communications (GSM) und das Global Positioning System (GPS) genannt. Eine Verbindung von Kommunikation und Navigation bietet viele Vorteile und ermöglicht viele neue Anwendungen wie zum Beispiel die automatische Lokalisierung von Notrufen oder die verbesserte Koordination von Rettungskräften im Einsatz. Ein einfacher Ansatz, Kommunikation und Navigation miteinander zu verbinden, ist, bereits bestehende Systeme in einem hybriden Empfänger zu vereinen (GSM + GPS). Da dies jedoch zumeist sehr kostenintensiv ist, wird in der AG Informations- und Codierungstheorie ein anderer Ansatz verfolgt: Es wurde ein Systementwurf vorgeschlagen, der von vornherein Kommunikations- und Navigationdienste umfasst. Grundlage dieses Systemvorschlages ist das Interleave-Division Mehrfachzugriffsverfahren ("Interleave-Division Multiple Access, IDMA"). Zunächst wurde die Leistungsfähigkeit dieses Systems in einem AWGN-Kanal untersucht. Anschließend wurden Störeinflüsse durch Mehrwegeausbreitungseffekte studiert.

#### **Adaptive digitale Funkübertragung**

Heterogene Kommunikationsnetze zeichnen sich durch eine Vielzahl von Netzarten und eine ständig wachsende Vielzahl von darin angebotenen Diensten aus. Der in der Arbeitsgruppe ICT verfolgte Ansatz besteht darin, unter Vorgabe einer dienstabhängigen Fehlerwahrscheinlichkeit die Datenrate der Übertragung zu maximieren und gleichzeitig die Sendeleistung zu minimieren.

Zu diesem Zweck wurde in der Arbeitsgruppe ein gemeinsames Modulations- und Codierungsverfahren entworfen ("Interleave-Division Multiplexing, IDM"). IDM ist eine Alternative zu "Bit-Interleaved Coded Modulation" und "Trellis-Coded Modulation". Mögliche Anwendungen finden sich in allen digitalen Übertragungssystemen, beispielsweise in Erweiterungen von UMTS, in zukünftigen Mobilfunksystemen der 4. Generation (4G), in ad-hoc Netzwerken, in drahtlosen LAN Systemen (WLAN), in Sensornetzwerken und in der Unterwasserkommunikation. Die Arbeitsgruppe hat ferner einen Systementwurf für die zukünftige Mobilfunkgeneration erarbeitet. Arbeiten zur Codeoptimierung, zu informationstheoretischen Schranken, zur optimalen Leistungsaufteilung und zur Kanalschätzung wurden abgeschlossen.

Aktuelle Arbeiten zu diesem Themenbereich befassen sich mit gemeinsamer Navigation und Kommunikation, mit einer Optimierung des Interleavers, mit einem ungleichen Fehlerschutz für Multimedia-Applikationen, mit einer Spitzenwertbegrenzung, mit Synchronisationsverfahren und einem schichtübergreifenden Systementwurf ("cross-layer design").

### **Cross-layer Design**

Herkömmlicherweise sind digitale Kommunikationssysteme in Schichten (Layers) aufgebaut, die mehr oder weniger dem standardisierten ISO/OSI-Schichtmodell entsprechen. Dabei erfüllt jede Schicht bestimmte Aufgaben wie z.B. die Übertragung der Symbole über ein Medium (Luft, Zweidrahtleitung, Glasfaser) oder die Segmentierung der zu sendenden Daten in Segmente passender Länge. Der große Vorteil dieses schichtweisen Aufbaus ist die Unabhängigkeit dieser Schichten voneinander. Es spielt z.B. keine Rolle für die Segmentierung der Daten ob diese über Luft oder eine Zweidrahtleitung gesendet werden.

Ziel des schichtübergreifenden Systementwurfs ist es, die Abstimmung zwischen den Schichten so zu erweitern, dass sich verbesserte Übertragungsbedingungen (z.B. höhere Datenraten oder geringere Verzögerungen) ergeben. Dabei können sowohl Sicherungs- wie auch Netzwerkschicht von der gezielten Weitergabe von Zuverlässigkeitsinformation aus der physikalischen Schicht von beträchtlichen Erhöhungen der Datenrate zu und Verringerung auftretender Verzögerungen profitieren.

### **Blinde und semiblinde Kanalschätzung und Entzerrung**

In Mobilfunksystemen wird üblicherweise eine Trainingssequenz verwendet, um den zeitvarianten Übertragungskanal zu vermessen. Da Trainingssymbole die effektive Datenrate verringern, führt deren Verwendung zu einem Bandbreiteverlust, der im GSM-System beispielsweise etwa 20% beträgt.

Eine Alternative besteht darin, den zeitvarianten Übertragungskanal ohne Verwendung von Trainingssymbolen zu schätzen und anschließend zu entzerren. Diese Alternative bezeichnet man als blinde Kanalschätzung und Entzerrung. Von einer semiblinde Kanalschätzung spricht man, wenn nur wenige Trainingssymbole verwendet werden.

Im Rahmen eines DFG-Projekts wurden von der Arbeitsgruppe ICT gemeinsam mit der Universität Bremen Verfahren zur gemeinsamen Kanal- und Datenschätzung für Mehrantennensysteme (MIMO-Systeme) entwickelt und untersucht. Neben blinden Verfahren werden auch semiblinde Verfahren berücksichtigt. Zu den Highlights zählten die Herleitung einer analytischen unteren Schranke ("Cramer-Rao-Schranke") für semiblinde Kanalschätzer und die Herleitung und Analyse von aufwandsgünstigen Graph-basierten Detektoren und Kanalschätzern mit exzellenter Leistungsfähigkeit.

### **Mobile Unterwasserkommunikation**

Das Thema der mobilen, akustischen Unterwasserkommunikation wird in der Arbeitsgruppe ICT mit großem Interesse verfolgt und bearbeitet, da es sich um eines der faszinierendsten Übertragungsmedien überhaupt handelt und hervorragend in die Kieler Infrastruktur passt.

Die Schwierigkeiten begründen sich in einer ausgeprägten Mehrwegeausbreitung, einer extrem großen Signallaufzeit, einer starken Dämpfung sowie einer kleinen Bandbreite. Im Rahmen des Kieler Exzellenzclusters "The Future Ocean" wird zur Zeit ein mobiles, akustisches Unterwassernetzwerk ("Unterwasser WLAN") zur Datenübertragung konzipiert.

Chief / Superior: Prof. Dr.-Ing. P. A. Höher; Secretary: A. Kruse (50%)  
 Technical Staff: Dipl.-Ing. T. Rabsch (50%)

Scientific Staff:

Dipl.-Ing. J. Ch. Fricke	15.09.2004-31.12.2007	CAU
Cross-Layer-Entwurf, Interleave-Division Multiple Access		
M.Sc. D. Hao	01.01.-31.12.2007	DFG
Interleave-Division Multiple Access		
Dipl.-Ing. K. Schmeink	01.04.-31.12.2007	CAU
Gemeinsame Navigation und Kommunikation		
M.Sc. T. Wo	01.11.2004-31.12.2007	DFG
Semi-blinde Entzerrung und Kanalschätzung		
M.Sc. H. Wu	01.12.2006-31.12.2007	Extern. Doktorand
Mehrantennen-Funksysteme		

## Lectures, Seminars and Laboratories

*Winter 2006/2007*

Kanalcodierung, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation II, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Information Theory and Coding I, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Wireless Communications, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

System Identification, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 W. Gerstacker

Communications Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,  
 P.A. Höher (+ U. Heute, W. Rosenkranz, und Mitarbeiter)

Advanced Topics Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,  
 P.A. Höher (+ U. Heute, W. Rosenkranz, und Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, 1 Std. Seminar/Woche,  
 P.A. Höher

*Summer 2007*

Informationstheorie, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation I, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
 P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Information Theory and Coding II, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Digital Communications, 4 Std. Seminar/Woche,  
P.A. Höher (+ U. Heute, W. Rosenkranz, und Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, 1 Std. Seminar/Woche,  
P.A. Höher

*Winter 2007/2008*

Kanalcodierung, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Mobilfunkkommunikation II, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Information Theory and Coding I, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

Wireless Communications, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
P.A. Höher (+ und Mitarbeiter)

System Identification, 2 (+ 1) Std. Vorlesung (+ Übungen)/Woche,  
W. Gerstacker

Communications Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,  
P.A. Höher (+ U. Heute, W. Rosenkranz, und Mitarbeiter)

Advanced Topics Lab, 4 Std. Praktikum/Woche,  
P.A. Höher (+ U. Heute, W. Rosenkranz, und Mitarbeiter)

Informationstechnik und Codierung, 1 Std. Seminar/Woche,  
P.A. Höher

### Third-Party-Funds

DFG, *Semi-blinde Kanalschätzung für MIMO-Systeme (HO 2226/8-1)*, 01.07.2006-30.06.2007 (56283 EUR)

DFG, *Multi-Layer Interleave-Division Multiple Access (HO 2226/9-1)*, 01.01.2007-31.12.2008 (123645 EUR)

DFG, *Multi-Antenna Multi-Layer Interleave-Division Multiple Access (HO 2226/10-1)*, 01.07.2007-30.06.2010  
(185468 EUR)

### Other Cooperation, Technology and Consultation

Die Arbeitsgruppe ICT pflegt Kontakte zu vielen universitären Arbeitsgruppen. Unsere derzeitigen Kooperationspartner in Industrie und Forschungseinrichtungen sind:

- Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen
- Deutsche Thomson-Brandt GmbH, Hannover
- DoCoMo Euro Labs, München
- ELAC Nautik GmbH, Kiel
- Ericsson GmbH, Backnang

- Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik (FWG), Kiel
- Nokia Siemens Networks, München
- Toshiba Telecommunications Research Laboratory, Bristol.

## ▼ Diploma-, Bachelor- and Master-Theses

- S. Krishnamoorthy, *Visual Cryptography*, 22.01.2007  
 H. Vetter, *Reduced Lattice MIMO Decoding*, 10.04.2007  
 K. Schmeink, *Untersuchung eines gemeinsamen Kommunikations- und Navigationssystems*, 28.03.2007  
 J. Li, *CCI Suppression for an IDMA Uplink*, 16.04.2007  
 S. Schreiber, *Untersuchung von Methoden zur Spitzenwertbegrenzung beim Interleave-Division Mehrfachzugriffsverfahren*, 18.06.2007  
 H. Vu Duc, *Web of Trust*, 27.09.2007  
 A. Khan, *Medium Access Control for Multi-Layer IDMA*, 21.12.2007  
 T. Li, *Incremental Redundancy for Multi-Layer IDMA*, 21.12.2007  
 X. Xu, *Adaptive Transmission Schemes for Multi-Antenna Interleave-Division Multiple Access Systems*, 21.12.2007  
 W. Pan, *Low-Complexity Semiblind Channel Estimation for Frequency-Selective MIMO Systems*, 21.12.2007  
 P. Yao, *Interleaver-Design for IDMA Systems*, 21.12.2007

## ▼ Dissertation / Postdoctoral Lecture Qualification

- H. Schöneich, *Adaptiver Interleave-Division Mehrfachzugriff (IDMA) mit Anwendung in der Mobilfunkkommunikation*, 02.11.2007

## ▼ Publications

Published in 2007

- P.A. Höher, K. Schmeink, *Joint Navigation and Communication Based on Interleave-Division Multiple Access*, Proc. Int. Workshop on Multi-Carrier Spread Spectrum (MC-SS 2007), Herrsching, 97 - 106 (2007)  
 H.D. Han, P.A. Höher, *Predistortion and Nonlinear Detection for OFDM Signals in the Presence of Nonlinear High Power Amplification*, European Transactions on Telecommunications (ETT), **18**, 411 - 418 (2007)  
 P.A. Höher, W. Xu, *Multi-Layer Interleave-Division Multiple Access for 3GPP Long Term Evolution*, Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2007), Glasgow, 5508 - 5513 (2007)  
 T. Wo, P.A. Höher, *A Simple Iterative Gaussian Detector for Severely Delay-Spread MIMO Channels*, IEEE International Conference on Communications (ICC 2007), Glasgow, 4598 - 4603 (2007)  
 J. Mietzner, P.A. Höher, *Improving the Performance of Mobile Broadcasting Systems Using Multiple Base Stations and Distributed Space-Time Codes*, IET Communications, **1**, 348 - 353 (2007)  
 J.Ch. Fricke, M.I. Rafique, P.A. Höher, *Routing Metrics Based on Soft-Output Decoding*, Proc. IEEE 66th Vehicular Technology Conference (VTC 2007-Fall), Baltimore, 1057 - 1061 (2007)  
 J.Ch. Fricke, P.A. Höher, *Word Error Probability Estimation by Means of a Modified Viterbi Decoder*, Proc. IEEE 66th Vehicular Technology Conference (VTC 2007-Fall), Baltimore, 1113 - 1116 (2007)  
 J. Mietzner, P.A. Höher, *A Rigorous Analysis of the Statistical Properties of the Discrete-Time Triply-Selective MIMO Rayleigh Fading Channel Model*, IEEE Transactions on Wireless Communications, **6**, 4199 - 4203 (2007)  
 P.A. Höher, P. Robertson, E. Offer, T. Würz, *The Soft-Output Principle – Reminiscences and New Developments*, European Transactions on Telecommunications (ETT), **18**, 829 - 835 (2007)

## Patent Applications

P.A. Höher, *Navigations-, Ortungs-, Positionierungs-, Lokalisierungs- und Kommunikationsverfahren auf IDMA-Basis*, Deutsches Patent- und Markenamt, 16.03.2007, 10 2007 012 847.0

## Presentations

- J.Ch. Fricke, *Zuverlässigkeitsinformation als QoS-Maß*, 9. Diskussionsitzung der ITG-Fachgruppe Angewandte Informationstheorie, Berlin, 12.-16.04.2007
- P.A. Höher, K. Schmeink, *Joint Navigation and Communication Based on Interleave-Division Multiple Access*, 6th International Workshop on Multi-Carrier Spread-Spectrum (MC-SS 2007), Herrsching, 06.-09.05.2007
- P.A. Höher, W. Xu, *Multi-Layer Interleave-Division Multiple Access for 3GPP Long Term Evolution*, IEEE Int. Conf. Communications (ICC 2007), Glasgow, Schottland, 23.-28.06.2007
- T. Wo, P.A. Höher, *A Simple Iterative Gaussian Detector for Severely Delay-Spread MIMO Channels*, Int. Conf. Communications (ICC 2007), Glasgow, Schottland, 24.-28.06.2007
- J.Ch. Fricke, M.I. Rafique, P.A. Höher, *Routing Metrics Based on Soft-Output Decoding*, 66th Vehicular Technology Conference (VTC 2007-Fall), Baltimore, USA, 29.09.-04.10.2007
- J.Ch. Fricke, P.A. Höher, *Word Error Probability Estimation by Means of a Modified Viterbi Decoder*, 66th Vehicular Technology Conference (VTC 2007-Fall), Baltimore, USA, 29.09.-04.10.2007
- K. Schmeink, *Gemeinsame Kommunikation und Navigation*, 10. Diskussionsitzung der ITG-Fachgruppe Angewandte Informationstheorie, Oberpfaffenhofen, 18.-20.10.2007
- K. Schmeink, *Gemeinsame Kommunikation und Navigation*, ICT Workshop, Kiel, 02.11.2007
- T. Wo, *IDM/IDMA on MIMO Channels*, ICT Workshop, Kiel, 02.11.2007
- T. Wo, *Progress in IDM/IDMA*, IEEE Workshop on Advanced Signal Processing on Wireless Communications, Kopenhagen, Dänemark, 16.11.2007
- P.A. Höher, *Recent Advances on Interleave-Division Multiple Access*, Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen, 03.12.2007
- P.A. Höher, *Recent Advances on Interleave-Division Multiple Access*, Second Communications and Navigation Workshop (CNW 2007), Oberpfaffenhofen, 06.-07.12.2007

## Other Activities and Events

Frau Dipl.-Ing Kathrin Schmeink erhielt am 29. Juni 2007 den Preis für das beste Diplom im Studiengang Elektrotechnik und Informationstechnik 2007 vom Förderverein der Technischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Außerdem wurde sie für ihr ehrenamtliches Engagement während des Studiums ausgezeichnet.

Frau Dipl.-Ing. Kathrin Schmeink erhielt am 01. Dezember 2007 den zweiten Preis der Prof. Dr. Werner Petersen-Stiftung für hervorragende Diplom- und Masterarbeiten auf den Gebieten der Ingenieurwissenschaften.

Dr.-Ing. Jan Mietzner erhielt ein DAAD-PostDoc Stipendium an die University of British Columbia, Kanada.

Dr.-Ing. Hendrik Schöneich wechselte zu Qualcomm CDMA nach Nürnberg.

Prof. Dr.-Ing. Peter Adam Höher ist seit 2006 Geschäftsführender Direktor des Instituts für Elektrotechnik und Informationstechnik der CAU. Er ist Antragsteller im Exzellenzcluster "The Future Ocean" der CAU. Er war 2007 Associated Editor für IEEE Transactions on Communications, Stellv. Vorsitzender des German Chapters der IEEE Communications Society, Mitglied des VDE/ITG Fachausschuss 5.1, und Mitglied der VDE/ITG Fachgruppen "Algorithmen für die Signalverarbeitung" und "Angewandte Informationstheorie".