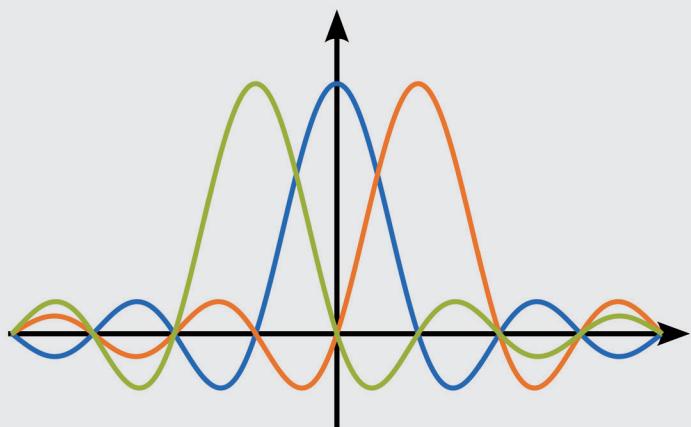


Lehrstuhl für Nachrichtentechnik  
Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

# Tätigkeitsbericht

1.10.2012–30.9.2014



Technische Universität München

Die Grafik auf der Vorderseite, gestaltet von Stefan Dierks und Beril Inan, soll das Prinzip von *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) verdeutlichen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Frequenzmultiplexverfahren überlappen sich bei diesem orthogonalen Frequenzmultiplexverfahren die Spektren der Subträger. Sie können jedoch wegen ihrer Orthogonalität am Empfänger getrennt werden. Im Zeitbereich sind die einzelnen Subträger Rechteckfunktionen, die mit unterschiedlichen Trägern gemischt werden. Daraus ergeben sich im Frequenzbereich die abgebildeten sinc-Funktionen. Der Abstand zwischen den Subträgern wird so gewählt, dass das Maximum eines jeden Subträgers mit den Nullstellen aller anderen Träger zusammenfällt.

OFDM-Signale werden mit der inversen Diskreten Fourier-Transformation (IDFT) erzeugt. Nach der Übertragung über den Kanal und kohärenter Demodulation können mit Hilfe der DFT die einzelnen Träger wiedergewonnen werden. Intersymbolinterferenz aufgrund von Mehrwegeausbreitung wird bei OFDM durch ein Guard-Intervall unterdrückt.

OFDM wird derzeit häufig in Kommunikationssystemen als Multiplex- und Entzerrungsverfahren eingesetzt. Beispiele sind der aktuelle Mobilfunkstandard *3GPP Long Term Evolution* (LTE), *Digital Subscriber Line* (DSL) und *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* (DVB-T). Die Nutzung von OFDM in Glasfasern ist seit Jahren ein Forschungsthema im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT). Die Berichte auf den Seiten 39, 44, 62, 73, 79, 82, 83 und 84 dieses Heftes beziehen sich auf OFDM.

Das in dieser Broschüre gewählte Layout geht auf Frau *Sakire Efe* vom Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH in Kamp-Lintfort zurück. Wir danken für die Erlaubnis, dieses Design verwenden zu dürfen.

Wir danken ferner Herrn *Leo Hausleiter* für die engagierte und angenehme Zusammenarbeit während der Herstellung dieses Heftes.

Herausgeber:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik  
Technische Universität München  
Arcisstr. 21, D-80290 München  
Tel.: (+49) 89 28 92 34 66  
Fax: (+49) 89 28 92 34 90  
Email: gerhard.kramer@tum.de  
URL: <http://www.LNT.ei.tum.de>

Redaktion:

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. Günter Söder  
Tel.: (+49) 89 28 92 34 86  
Fax: (+49) 89 28 92 34 90  
Email: guenter.soeder@tum.de

Satz:

Leo Hausleiter, M.A.  
Clemensstraße 122, D-80796 München  
Tel.: (+49) 17 87 21 82 38  
E-mail: hausleiter@freenet.de

Belichtung und Druck:

Offsetdruck Schwarz GmbH  
Rohrauerstraße 70, D-81477 München

Auflage: 800 Stück



# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	1
<b>2</b>	<b>Personelles</b>	3
2.1	Wissenschaftliches Personal (LNT)	3
2.2	Wissenschaftliches Personal (LÜT)	3
2.3	Mitarbeiter in den Labors	6
2.4	Mitarbeiterinnen in Büro und Verwaltung	6
2.5	Lehrbeauftragte	6
2.6	Externe Doktoranden	6
2.7	Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte	6
2.8	Ehrungen und Preise	7
2.9	Alumni-Nachrichten und Persönliches	10
<b>3</b>	<b>Lehrveranstaltungen</b>	13
3.1	Einige allgemeine Bemerkungen	13
3.2	LNT-Veranstaltungen für EI-BSc	14
3.3	LNT-Veranstaltungen für EI-MSc und MSCE	15
3.4	LÜT-Lehrveranstaltungen für EI-MSc und MSCE	18
3.5	Studiengang Lehramt an Beruflichen Schulen (LB)	19
3.6	Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM	20
3.7	Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme	22
3.8	Seminar on Topics in Communications Engineering	24
<b>4</b>	<b>Diplomarbeiten, Master's Theses, Bachelor Theses</b>	27
4.1	Einige allgemeine Bemerkungen	27
4.2	Master's Theses (EI-MSc, MSCE)	28
4.3	Forschungspraxis & MSCE Internships	30
4.4	Bachelor Theses (EI-BSc, LB)	30
4.5	Ingenieurspraxis	32
<b>5</b>	<b>Promotionen / Habilitationen</b>	35
5.1	Abgeschlossene Promotionsverfahren	35
5.2	Curricula Vitae unserer Doktoranden	45
5.3	Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung	47
5.4	Habilitationsverfahren mit LNT-Beteiligung	49
5.5	Vorträge im Doktorandenseminar	49

# Inhalt

<b>6</b>	<b>Arbeitsgebiete</b>	55
<b>7</b>	<b>Extern geförderte Projekte</b>	77
7.1	Vorbemerkungen	77
7.2	NSF-Projekt der USC	78
7.3	LNT-Projekt DLR@Uni – Munich Aerospace	78
7.4	LNT-Projekt mit NSN	79
7.5	LNT-Projekt mit Alcatel-Lucent	79
7.6	DFG-Projekt des LNT	80
7.7	TUM-IAS-Förderung L.Barletta	80
7.8	Humboldt-Förderung R. Timo	81
7.9	TUM-IAS-Förderung M. Yousefi	82
7.10	LÜT-Projekt mit NSN	82
7.11	LÜT-Projekt mit BMFB	83
7.12	LÜT-Projekt mit BMW	83
7.13	LÜT-Projekt mit Coriant	84
<b>8</b>	<b>Veröffentlichungen, Patente, Vorträge</b>	85
8.1	Überblick aller Publikationen	85
8.2	Dissertationen	85
8.3	Zeitschriftenbeiträge	85
8.4	Konferenzbeiträge	87
8.5	Poster	90
8.6	Patente	92
8.7	Technische Berichte	92
8.8	Vorträge	92
<b>9</b>	<b>Veranstaltungen</b>	95
9.1	UlmTUM Workshop on Coding Theory	95
9.2	15th Anniversary of the MSCE Program	96
9.3	16th Joint Conference on Communications and Coding	99
9.4	Dies Legendi – Tag der Lehre	102
9.5	Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises	104
9.6	LNT & DLR Summer Workshop on Coding	106
<b>10</b>	<b>Internationale Beziehungen</b>	107
10.1	Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern	107
10.2	Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler	114
10.3	Vorträge von Gästen	117
<b>11</b>	<b>Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation</b>	121
<b>12</b>	<b>Sonstiges</b>	133
12.1	Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung	133
12.2	Tätigkeit in Gremien/wissenschaftlichen Vereinigungen	134
12.3	Unsere Erfahrungen mit LNTwww – einem webbasierten Lerntutorial für die Nachrichtentechnik	135
12.4	Neuerungen in der Infrastruktur	135
12.5	Nomor Research – Back to the Roots	136
12.6	Feste – Feiern	137

# 1

# Vorwort

Liebe Freunde, Partner und Mitarbeiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik,

Unser jedes zweite Jahr erscheinende Tätigkeitsbericht ist auch für mich eine gute Gelegenheit, auf die Aktivitäten des LNT in den Jahren 2013 und 2014 zurückzublicken. Ebenso wie beim letzten Bericht 2012 bin ich wieder überrascht über die Vielzahl der Ereignisse und dass einem manches Geschehen der jüngsten Zeit als längst vergangen vorkommt.

Für mich persönlich begann das Jahr 2013 sehr arbeitsreich und aufregend. Im Januar übernahm ich für ein Jahr das Amt des Präsidenten der *IEEE Information Theory (IT) Society*. Eines meiner Ziele war es hierbei, die Aktivitäten der IT-Society außerhalb Europas und Nordamerikas zu erhöhen. Deshalb war ich sehr erfreut, dass mein Vorschlag angenommen wurde, unsere erfolgreichen *Schools of Information Theory* auf Australien, Ostasien und Indien auszuweiten. 2014 fanden diese in Adelaide, Hong Kong und Chennai statt. Diese ca. 200 Studenten jährlich kommen nun zusätzlich zu den etwa 150 Teilnehmern bei der *European School* und der *North American School*. Ich freue mich auch, dass das Board of Governors das *2017 IEEE International Symposium on Information Theory* nach Aachen vergeben hat. Es ist erst die zweite ISIT in Deutschland.

Das Jahr 2013 wurde aber auch durch zwei außergewöhnlich traurige Ereignisse geprägt. Ende Januar teilte mir mein Doktorvater Jim Massey mit, dass bei ihm Krebs diagnostiziert

wurde. Nach diesem Telefonat fühlte ich, dass Jim selbst wusste, dass er nicht mehr lange zu leben hatte. Er verstarb am 16. Juni 2013 in Kopenhagen. Und Ende November schrieb mir Nuala Kötter, die Witwe meines Vorgängers Professor Ralf Kötter, dass sie im Krankenhaus sei. Ralfs Mutter Ruth Kötter teilte mir parallel dazu mit, dass ihr Krebsleiden weit fortgeschritten war. Nuala verstarb am 6. Dezember in München.

Der Tod von Jim und Nuala haben die Familien und Freunde tief getroffen und auch mir wurde wieder bewusst, wie schwer es ist, jemanden zu verlieren, den man liebt. Ich vermisste beide sehr. Ein Nachruf auf Nuala Kötter finden Sie auf Seite 10 dieses Heftes.

Zu unserer Freude gibt es auch gute Nachrichten. Bei einigen unserer Doktorand(inn)en gab es 2014 Nachwuchs oder sie werden Anfang kommenden Jahres Eltern.

Wir sind stolz auf unsere neun Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die seit 2012 ihre Promotion zum Abschluss gebracht haben. Wir berichten über sie im Kapitel 5. Ebenso gratulieren wir unseren Professoren Joachim Hagenauer und Norbert Hanik sowie etlichen Doktoranden und Postdoktoranden, die für ihre Leistungen in Forschung und Lehre Preise ihrer Universitäten oder von anderen Institutionen in Empfang nehmen konnten. Wir berichten darüber in Kapitel 2.

In den zwei letzten Jahren gab es neben der üblichen Fluktuation bei Doktoranden noch andere personelle Veränderungen. Dr. Christoph Hausl hat sich 2013 für eine Industrietätigkeit bei Rohde & Schwarz in München entschieden. Seine Verwaltungstätigkeit hat nun Dr. Georg Böcherer übernommen, der seit 2013 auch an seiner Habilitation arbeitet. Zudem kamen sieben Doktoranden und sechs Postdoktoranden neu zu uns, wodurch unsere Forschungsaktivitäten noch vielfältiger wurden.

Auch die beiden nächsten Jahre werden größere Veränderungen bringen. 2015 endet nach fünf Jahren die Förderung entsprechend der Alexander-von-Humboldt-Professur. Ein anderes Beispiel ist der geplante Umzug der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik nach Garching, der immer konkreter wird.

Ich hoffe, dass dieser Tätigkeitsbericht einen guten Überblick über unsere Aktivitäten vermittelt. Wenn Sie Kommentare oder Verbesserungsvorschläge haben, bitte ich Sie, mich zu kontaktieren.

Ich danke allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für ihre gute Arbeit, ihre Unterstützung und ihren Einsatz für den LNT.

München, November 2014



(Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer)

# 1 Vorwort

Dear Associates and Friends of the LNT,

The biannual *LNT Tätigkeitsbericht* provides a welcome opportunity to look back at the activities of our chair in 2013 and 2014. As for the previous report in 2012, I am surprised by how many events took place and at how quickly even recent events seem distant.

On a personal note, the year 2013 started off as a busy and exciting one. In January, I took up duties as the 2013 President of the IEEE Information Theory (IT) Society. One major goal I set for myself was to increase the number of Society activities outside of Europe and North America. I was therefore pleased that, at the IT Society's annual meeting in Istanbul in July, the Board of Governors accepted my proposal to expand our very successful Annual School of IT program to Australia, East Asia, and India. The three new Schools took place in 2014, one each in Adelaide, Hong Kong, and Chennai, with approximately 200 students attending in total. This is in addition to the over 150 students that regular-

ly attend the European School (created in 1991) and North American School (created in 2008). Another success, among a few others, was that the Board approved Aachen as the venue of the 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT). This will be only the second ISIT in Germany.

Unfortunately, the year 2013 was marked by two particularly sad events. First, in late January Jim Massey called to tell me that he had been diagnosed with cancer. I recall that after speaking with him on the phone, I felt that he knew he would not live much longer. Jim passed away on June 16 in Copenhagen. Then, in late November Nuala Kötter wrote that she was in the hospital, and Ralf Kötter's mother Ruth told me that her cancer had spread. Nuala passed away on Dec. 6 in Munich. Both events affected their family and friends greatly. I miss them both.

At our annual Christmas party in 2013, I remarked on the difficulty of losing loved ones. A resolution and balance is brought by new life, and we are happy that several of our *Doktoranden* became parents this year, or will become so next year.

We are proud of the doctoral students who graduated since 2012, you can read about them in Chapter 5. Many doctoral and post-doctoral students received university, corporate, and professional society awards for their research and teaching, as did our Professors Joachim Hagenauer and Norbert Hanik. To find out more, please refer to Chapter 2.

There were several important personnel changes in the past two years. Apart from the recent departures of the new doctors, Christoph Hausl decided to switch to industry and join Rohde & Schwarz in Munich. He was replaced by Georg Böcherer who has been actively re-organizing tasks at the chair and who started a Habilitation late last year. Since 2012, the LNT has welcomed seven new doctoral students and six new postdocs. The research activity at our chair has become even more diverse as a result!

Looking ahead, the next two years will bring more important changes. For example, the Alexander von Humboldt Professorship funding period of five years ends soon. As another example, the plans to move the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology to Garching are becoming more concrete.

I hope that this report gives you a good picture of our activities. If you have any comments or suggestions, please feel free to contact me.

Finally, I would again like to thank all the members of the LNT for their support and hard work, and for their and your dedication to this institution.

München, November 2014



(Gerhard Kramer)

# 2 Personelles

## 2.1 Wissenschaftliches Personal am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT)

Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer**

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer**

Prof. (em.) Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Hans Marko**

M.Sc. **Rana Ali Amjad**, wiss. Angestellter (ab 01.01.2014)

Dr. **Luca Barletta**, Postdoktoral-Angestellter (ab 01.11.2012)

Dipl.-Ing. **Hannes Bartz**, Akademischer Rat. a. Z.

Dr.-Ing. **Georg Böcherer**, Akademischer Rat. a. Z.

Dipl.-Ing., **Joschi Brauchle**, M.Sc., Akademischer Rat a. Z.

Dipl.-Ing. **Stefan Dierks**, wiss. Angestellter

M.Sc. **Onur Günlü**, wiss. Angestellter (ab 01.02.2014)

M.Sc. **Michael Heindlmaier**, Akademischer Rat. a. Z.

M.Sc. **Onurcan Işcan**, wiss. Angestellter

M.Sc. **Andrei Nedelcu**, wiss. Angestellter (ab 01.12.2012)

M.Sc. **Lars Palzer**, wiss. Angestellter (ab 01.09.2014)

Dr. **Shirin Saaedi Bidokhti**, Postdoktoral-Angestellte (ab 15.11.2012)

Dipl.-Ing. **Markus Stinner**, wiss. Angestellter

Dr. **Roy Timo**, Postdoktoral-Angestellter (ab 01.05.2014)

Dr. **Mansoor Yousefi**, Postdoktoral-Angestellter (ab 15.12.2012)

### Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr. **Stefano Rini** (zum 31.10.2012)

Dr.-Ing. **Christoph Hausl** (zum 31.01.2013)

Dr.-Ing. **Ronald Böhneke** (zum 31.07.2013)

Dr.-Ing. **Mohit Thakur** (zum 31.03.2014)

Dr.-Ing. **Jie Hou** (zum 31.08.2014)

Dr.-Ing. **Tobias Lutz** (zum 24.09.2014)

## 2.2 Wissenschaftliches Personal des Fachgebiets Leitungsbundene Übertragungstechnik (LÜT)

Prof. Dr.-Ing. **Norbert Hanik**, Extraordinarius

M.Sc. **Yingkan Chen**, wiss. Angestellter

Dipl.-Ing. **Tobias Fehenberger**, Akademischer Rat. a. Z.

Dipl.-Inf. **Elisabeth Georg**, wiss. Angestellte

Dr.-Ing. **Beril Inan**, wiss. Angestellte

M.Sc. **Ginni Khanna**, wiss. Angestellte (ab 19.02.2014)

### 2.1 Wissenschaftliches Personal (LNT)

### 2.2 Wissenschaftliches Personal (LÜT)

### 2.3 Mitarbeiter in den Labors

### 2.4 Mitarbeiterinnen in Büro und Verwaltung

### 2.5 Lehrbeauftragte

### 2.6 Externe Doktoranden

### 2.7 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

### 2.8 Ehrungen und Preise

### 2.9 Alumni-Nachrichten und Persönliches

Die Zusammenstellung bezieht sich auf den Stichtag 30.09.2014. Auf der nächsten Seite folgen die Personalien der im Berichtszeitraum neu hinzu gekommenen Kollegen.

Um die Listenform zu wahren, ist der nachgestellte akademische Grad „Ph.D.“ (*Doctor of Philosophy*) durch den äquivalenten Titel „Dr.“ ersetzt. Der akademische Grad *Master of Science* ist hier einheitlich mit M.Sc. abgekürzt und steht vor dem Namen.

Unsere Gastwissenschaftler sind hier nicht aufgeführt. Sie finden deren Biografien im Kapitel 10.2.

**Rana Ali Amjad**, M.Sc., was born in Sahiwal, Pakistan, in 1989. He received his B.Sc. degree in Electrical Engineering, summa cum laude, in 2011 from the University of Engineering and Technology Lahore, Pakistan. He was a part of the MSCE program at TUM where he graduated with an academic award in 2013. In fall 2014 he received the Walter Gademann Masterpreis of the TUM Department of Electrical Engineering and Information Technology (see p. 9).

During his Master studies he did a research internship and his Master thesis at LNT. The topic of his thesis was *Algorithms for Simulation of Discrete Memoryless Sources*, with a focus on coding schemes for resolvability and probabilistic shaping.

Since January 2014, he is a Ph.D. student at LNT under the supervision of Prof. Kramer. His current research focuses on channel resolvability and secrecy. He is also interested in the interplay between information theory and machine learning.

In summer 2014 he was the teaching assistant for the M.Sc. course *Multi-user Information Theory*.

**Luca Barletta**, Ph.D., was born in Italy, in 1983. He received his M.Sc. degree (cum laude) in

Telecommunications Engineering and the Ph.D. degree in Information Engineering from Politecnico di Milano, Milano, Italy, in 2007 and 2010, respectively. He currently is a postdoctoral member at Technische Universität München – Institute for Advanced Study



## Our new colleagues at LNT

(TUM–IAS). He formerly was a postdoctoral researcher at Politecnico di Milano and visiting researcher at Bell Labs, Alcatel-Lucent, Holmdel, NJ, USA. His research interests include digital communications and information theory, with emphasis on fiber-optic communication, phase-noise channels, and analysis of random access protocols.

In the winter semester 2012/2013 Dr. Barletta was the lecturer for the course *Mobile Communications*.

**Onur Günlü**, M.Sc., was born in Karsiyaka/Izmir, Turkey, in 1989.



He received his B.Sc. degree in Electrical and Electronics Engineering from Bilkent University, Turkey, in 2011 with a scholarship from the university. He also received scholarships given by the Turkish Prime Ministry, Turkish Education Foundation (TEV) and Aegean Modern Education Foundation (ECEV). He was selected for the Golden Youth Award by Isbank.

In 2013, he received his M.Sc. degree from TUM as part of the MSCE program with scholarships from the German Academic Exchange Service (DAAD) and the Turkish Education Foundation (TEV). He received an academic award for top MSCE students (see p. 9) and won the 1<sup>st</sup> prize in the competition *Hands-On Project Digital Society*, a competition sponsored by the Alexander-von-Humboldt Foundation, DAAD, the Goethe Institute, the German Centre for International Migration (CIM), and the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Since February 2014, Onur Günlü is a Ph.D. student at LNT under the supervision of Prof. Kramer. In the summer term 2014 he supervised two laboratories. In fall 2014 he assisted Prof. S. ten Brink, Prof. R. Müller and Prof. G. Kramer during the Ferienakademie in Sarntal, Italy, for the course *Algorithms for Software Defined Radio*.

**Ginni Khanna**, M.Sc., was born in New Delhi, India, in 1989. She completed her Master in Communication Engineering at TUM in 2013.



For her Master's thesis *Characterization of Driver Amplifiers and Mach-Zehnder Modulators in Optical Communication Systems* she worked on behavioural modelling of driver amplifiers used in optical communication systems. Since February 2014, she works as a research assistant in the Wireline Transmission Technology Group (LÜT) led by Prof. Hanik in cooperation with Coriant GmbH & Co. KG. In spring 2014 Ginni Khanna organized and supervised the *Simulation of Optical Communications Laboratory*.

The main focus of her research during her Ph.D. is the implementation of algorithms for digital pre-distortion of signals for compensating the linear and non-linear effects in the electronic components in optical communication systems.

**Gianluigi Liva**, Ph.D., was born in Spilimbergo, Italy, in 1977. He received the M.S. and the Ph.D. degrees in Electrical Engineering from the University of Bologna (Italy) in 2002 and 2006, respectively.



Since 2003 he has been investigating channel codes for high data rate space missions, in collaboration with the European Space Operations Centre of the European Space Agency (ESA-ESOC). From October 2004 to April 2005 he was researcher at the University of Arizona in Tucson, where he designed low-complexity error correcting codes for space communications. Since 2006 he is with the Institute of Communications and Navigation at the German Aerospace Center (DLR), where he works on coding and modulation for space communication systems and on random access protocols for interactive satellite networks.

In 2010 he was appointed lecturer for *Channel Coding* at the Institute for Communications Engineering (LNT), TU München. In 2012 and 2013 he has been lecturing *Channel Coding* at the Nanjing University of Science and Technology, China. Since 2014 he is lecturer for *Channel Codes with Iterative Decoding* for M.Sc. students at the TUM Department of Electrical Engineering and Information Technology.

**Andrei Nedelcu**, M.Sc., was born in Ploiești, Romania. He received the Dipl.-Ing. degree from Polytechnic University Bucharest, Romania, in 2009. After this he completed the MSCE program at TUM and received the M.Sc. degree in 2011. From 2011 to 2012 he held an industry position.

In December 2012 he joined the LNT as a research assistant supervised by Prof. Gerhard Kramer. His research interests are in the field of MIMO communications. He works on the research project *Multiport Communication Systems* funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). See Chapter 7.6.

In winter semester 2013/2014 he was the teaching assistant for the lecture *System Aspects in Communications* and in spring 2014 he supervised the *Basic Laboratory Course on Telecommunications* (for B.Sc. students) and the *Wireless Communications Laboratory*.

**Lars Palzer**, M.Sc. ETH, was born in Celle in 1988. He received the B.Sc. degree from TU Braunschweig, in 2012, and the M.Sc. ETH degree (with distinction) from ETH Zürich, Switzerland, in 2014, both in Electrical Engineering. During his Master thesis, he studied error probabilities for the Gaussian channel with intermittent feedback.

In 2010, he spent a semester at the University of Nottingham, UK, and from 2011–2012, he completed

an internship at the Space Technology Group of the Fraunhofer Ernst-Mach Institute, Freiburg im Breisgau. In September 2014, he joined the LNT as a research assistant and is responsible for the tutorial to *Information Theory*. His research interests include information theory and communication theory.

**Shirin Saeedi Bidokhti**, Ph.D., was born in Tehran, Iran. She received the



B.Sc. degree in Electrical Engineering from the University of Tehran, Iran, in 2005, and the M.Sc. and Ph.D. degrees in Communication Systems from the École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, in 2007 and 2012, respectively. In 2013, she was awarded a Swiss National Science Foundation Prospective Researcher Fellowship.

Since November 2012, she has been a postdoctoral researcher at LNT. In the winter term 2012/2013 she was the teaching assistant for *Information Theory*, and 2013/2014 she was the lecturer for the course *Multi-user Information Theory*, both for M.Sc. students.

Her research interests include information theory and coding, multi-user communications systems, and network coding.

**Roy Timo**, Ph.D., was born in Australia in 1981. He received the Bachelor of Engineering (Hons.) and Ph.D. degrees from The Australian National University in July 2005 and December 2009.

In May 2014, he joined the LNT as an Alexander von Humboldt Research Fellow. Prior to joining TUM, he was a Research Fellow with the Institute for Telecommunications Research at the University of South Australia, and a Postdoctoral Researcher with the Princeton University and Telecom ParisTech.

Roy Timo conducts basic research in the field of information theory. His research aims to establish the

## 2 Personelles

fundamental limits of communications systems and to devise practical methods to achieve those limits. His particular focus at TUM is on the fundamental limits of streaming data in real time over unreliable communications channels.

**Mansoor I. Yousefi**, Ph.D., was born in 1980 in Iran. He received his Ph.D.



degree from the University of Toronto, Canada, under the supervision of Prof. Frank Kschischang. He wrote a doctoral dissertation, entitled *Information Transmission using the Nonlinear Fourier Transform*, on the communication theory of nonlinear dispersive media, with application in fiber-optic channels.

In 2012 the Institute for Advanced Study at Technische Universität München (TUM-IAS) created a focus group on information theory of optical fiber. As a part of this, Mansoor joined in January 2013 as a postdoctoral fellow. Mansoor's research at TUM-IAS centers on determining the information capacity of optical fiber, governed by the nonlinear Schrödinger equation. His approach to research is interdisciplinary, drawing on information theory, mathematical analysis of partial differential equations and nonlinear optics. You can find more details on p. 71 and in Chapter 7.9.

Dr. Yousefi is a recipient of numerous awards and scholarships, including the *2014 Best Paper Award at the 27th Biennial Symposium on Communications* in Kingston, Canada, the *2013 IEEE Jack Keil Wolf ISIT Student Paper Award*, and the *Shahid U.H. Qureshi Award* at the University of Toronto.

## 2.3 Mitarbeiter in den Labors

**Manfred Danzer**, Systemadministrator  
**Martin Kontny**, Elektromaschinenbauer, Elektroniklabor

## 2.4 Mitarbeiterinnen in Büro und Verwaltung

**Doris Dorn**, Verwaltungsangestellte  
**Rita Henn-Schlune**, Sekretärin  
**Erika Herian**, Offiziantin  
**Nicole Roßmann**, Verwaltungsangestellte

## 2.5 Lehrbeauftragte

Dr. **Gianluigi Liva**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Oberpfaffenhofen (seit 2014)  
Apl. Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. **Günter Söder** (seit 2011)  
Dr. -Ing. **Ingo Viering**, Fa. Nomor Research GmbH, München  
(seit 2007)

### Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr. **Francesco Rossetto**, Fa. Rohde & Schwarz, München  
(bis Sommersemester 2013)  
Prof. Dr. **Prakash Narayan** University of Maryland, MD/USA  
(nur Sommersemester 2013)  
Prof. Dr. **Andrew Thangaraj**, Indian Institute of Technology (IIT),  
Madras, Indien (nur Sommersemester 2014)

## 2.6 Externe Doktoranden

M.Sc. **Marwa El Hefnawy** (Prof. Kramer)  
Dr.-Ing. **Oscar Gaete** (Prof. Hanik)  
Dr. **Hassan Ghozlan** (Prof. Kramer)  
Dr.-Ing. **Stephan Hellerbrand** (Prof. Hanik)  
Dipl.-Ing. **Günther Liebl** (Prof. Hagenauer)  
Dr.-Ing. **Markus Roppelt** (Prof. Hanik)

## 2.7 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

*Wissenschaftliche Hilfskräfte* (Studienabschluss vorausgesetzt, z.B. B.Sc.):  
Rana Ali Amjad, Ankur Argawal, Sebastian Baur, Clemens Blöchl, Gudrun Bollmann, Debajyoti Chatterjee, Arslan Faisal, Julia Fumbarev, Andrea Grigorescu Vlass, Onur Günlü, Bilal Hammoud, Markus Jäger, Muhammad Kamran, Karl-Tasnad Kernetzky, Ginni Khanna, Felix Kristl, Jie Lu, Klaus Madl, Adithya Kumar Jai Prakash Madanahalli, Hrishikesh Ravi Mathukkaramukku, Muhammad Waqas Mehboob, Amini Rad Mostashar, Lorenz Rädler, Abbas Rizvi, Saher Salem, Patrick Schulte, Stefanie Schwarz, Dhananjay Shah, Michael Wiedemann, Min Zhu

*Studentische Hilfskräfte* (für Forschungsprojekte oder Praktikumsbetreuung):  
Christoph Bachhuber, Ajay Kumar Beesetti, Andreas Ditler, Elena Grigoreva, Johanna Hoppenstedt, Albert Iepure, Muhammad Atyab Imtaar, Huixian Jiang, Vijay Pravin Maharajan, Vianney Martinez-Alcantara, Matthias Mielke, Muhammad Kamran, He Mu, Lorenz Pichler, Amini Rad Pedram, Mohamed Rashwan, Stefan Richter, Mohammadi Soheil, Ezra Tampubolon, Jinjian Wang, Stefanie Wirtz, Mohanad Zaki

*Studentische Hilfskräfte* (für die Bibliotheksverwaltung):  
Johanna Hoppenstedt, Stefanie Wirtz

## 2.8 Ehrungen und Preise

(1) Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer** served as the 2013 *President of the IEEE Information Theory Society*; he had previously served as Vice President in 2011 and 2012. The Information Theory Society is the world's pre-eminent community developing the mathematical underpinnings of information technology for the benefit of humanity, and its mission is to support the open exchange of ideas in information theory and recognition of excellence. See <http://www.itsoc.org>.



The Information Theory Society is the world's pre-eminent community developing the mathematical underpinnings of information technology for the benefit of humanity, and its mission is to support the open exchange of ideas in information theory and recognition of excellence. See <http://www.itsoc.org>.

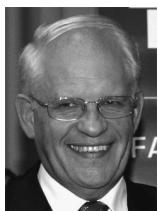
(2) Gerhard Kramer and former Bell Labs colleague Carl Nuzman received the *2012 Thomas Alva Edison patent award in the telecommunications category*. This award is given annually by the *Research & Development Council* of New Jersey, and in 2012 the award was presented at the Council's 50th Anniversary Celebration and 33rd Edison Patent Award Ceremony & Reception. U.S. Patent 8,218,419 describes a pilot-based training scheme that significantly expedites cross-talk estimation for vectored DSL systems using joint estimation over groups of tones.

(3) Gerhard Kramer was awarded the *2014 EURASIP Best Paper Award* for the EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. The publication, entitled "Compound Wiretap Channels", is a joint work of Yingbin Liang, Gerhard Kramer, H. Vincent Poor, and Shlomo Shamai and was published in the EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2009, Article ID 142374. See photo on the right.

(4) Gerhard Kramer has been listed by Thomson Reuters as one of *The World's Most Influential Scientific Minds for 2014*, and one of the 120 most influential researchers in Computer Science. Influence is determined by analyzing citation data over the last 11 years to identify those who published the highest-impact work during 2002–2012. Highly cited papers rank in the top 1% by citations for their field and year of publication. Ralf Kötter, who headed the LNT from 2007–2009, is also included in the list.

*Prof. Gerhard Kramer wurde 2012 zum Präsidenten der IEEE Information Theory Society für das Jahr 2013 gewählt (1). Er hat gemeinsam mit Carl Nuzman den 2012 Thomas Edison Patent Award in der Kategorie Telecommunications erhalten (2) und zusammen mit drei Kollegen auch einen 2014 EURASIP Best Paper Award (3). Schließlich wurde er 2014 von Thomson Reuters in die Liste der 120 einflussreichsten Forscher auf dem Gebiet der Informatik/Informationstechnik aufgenommen (4).*

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer**, Leiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik in den Jahren 1993–2006, wurde mit dem *Wissenschafts-*



*preis der Informations- und Kommunikationstechnik der ITG ausgezeichnet. Die Preisübergabe erfolgt anlässlich des 60-jährigen Bestehens der ITG am 12. November 2014 in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften in Berlin. Mit diesem Preis soll jeweils eine herausragende, persönliche technisch-wissenschaftliche Leistung gewürdigt werden, die entweder zu einer wesentlichen Erweiterung der grundlegenden Kenntnisse auf dem Gebiet der Nachrichten- und Informationstechnik beigetragen oder aber im Rahmen eines Gesamtwerks die Informationstechnik in wissenschaftlicher und technischer Hinsicht maßgebend gefördert hat. Der mit 5.000 Euro dotierte Wissenschaftspreis wird als hohe Auszeichnung angesehen und unter der Anlegung eines strengen Maßstabs nur alle vier Jahren vergeben. Joachim Hagenauer ist der erste Preisträger in dieser neu geschaffenen Kategorie. Der Wissenschaftspreis folgt dem Karl-Küpfmüller-Preis, der zwischen 1984 und 2008 insgesamt siebenmal vergeben wurde. Erster Küpfmüller-Preisträger 1984 war Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Marko, Hagenauers Vorgänger als Inhaber des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik in den Jahren 1962–1993.*



Hier sind alle Angehörigen von LNT und LÜT aufgeführt, die im Berichtszeitraum für hervorragende Leistungen in Lehre und/oder Forschung ausgezeichnet wurden. Wir beginnen mit den wichtigsten Ehrungen für unseren Lehrstuhlinhaber Gerhard Kramer.

This chapter lists all individuals from LNT and LÜT who received awards for their teaching and/or research during October 2012 until September 2014. Congratulations to our colleagues for their accomplishments.



Gerhard Kramer bei der Überreichung des 2014 EURASIP Best Paper Awards durch Prof. Fulvio Gini in Lissabon im September 2014



Joachim Hagenauer zusammen mit dem ITG-Vorsitzenden Prof. Ingo Wolff bei der Preisüberreichung in Berlin im November 2014

## 2 Personelles



Norbert Hanik bei der Überreichung des Lehrpreises der TUM zusammen mit der TU-Vizepräsidentin Prof. R. Keller und Laudator T. Kernetzky (Februar 2014)

*Joachim Hagenauer has been named the first recipient of the Science Prize of the German Information Technology Society (ITG). The prize is awarded every four years to honor outstanding technical and scientific achievements in the field of communications and information technology. The basis for judging is contributions that significantly expanded fundamental knowledge in the field of communications and information technology, and for promoting the field through a complete body of work. The award ceremony took place in November 2014 during the event 60 Jahre Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE in Berlin.*

Prof. Dr.-Ing. **Norbert Hanik**, seit 2004 Leiter des Fachgebiets Leitungsggebundene Übertragungstechnik und früherer Doktorand des LNT, wurde am

13. Februar 2014 im Rahmen des jährlich stattfindenden *dies legendi* mit dem *Lehrpreis 2013 der Technischen Universität München* ausgezeichnet (siehe oberes Foto). Nähere Informationen über die Preisübergabe durch Prof. Regine Keller, die Vizepräsidentin der TU München für Studium und Lehre, und die Laudatio finden Sie im Kapitel 9.3. Der Preis wird an besonders engagierte Dozenten und Professoren der TUM für deren herausragende Lehre verliehen.

*Norbert Hanik received one of the 2013 Teaching Awards of the Technische Universität München in February 2014 during the dies legendi. More details can be found in Chapter 9.3.*

Dr.-Ing. **Georg Böcherer**, seit April 2012 als Postdoktorand und Habilitant am LNT, erhielt im Dezember 2013 den mit 2500 € dotierten *Preis für die beste Dissertation im Bereich Nachrichtentechnik an der RWTH Aachen*, der jährlich vom Mobilfunkanbieter E-Plus vergeben wird. Ausgezeichnet wurde seine Dissertation „Capacity-Achieving Probabilistic Shaping for Noisy and Noiseless Channels“, mit der er im Februar 2012 promovierte. Siehe unteres Foto.

*Georg Böcherer received an award for the best PhD dissertation in the area of Communications Engineering at the RWTH Aachen University in 2012, given by the mobile network operator E-Plus.*

**Roy Timo**, Ph.D., was awarded as an *Alexander von Humboldt Research Fellowship* in 2013. In May 2014, he joined the LNT. Formerly he was a Research Fellow with the Institute for Telecommunications Research (ITR) at the University of South Australia, a Postdoctoral Researcher at Princeton University, and a Postdoctoral Researcher at Telecom ParisTech. You can find Roy's biography on page 5.

*Roy Timo erhielt 2013 ein Humboldt-Forschungsstipendium für Postdoktoranden, mit dem er seinen Gastaufenthalt am Institute for Advanced Study der TU München (TUM-IAS) und am LNT für zwei Jahre finanzieren kann.*

**Mansoor I. Yousefi**, Ph.D., postdoc at LNT since 2012 and member of the focus group on information theory of optical fiber at the Institute for Advanced Study at Technische Universität München (TUM-IAS), received the *2013 IEEE Jack Keil Wolf ISIT Student Paper Award*, the *Shahid U.H. Qureshi Award at the University of Toronto* in 2013, and the *Best Paper Award at the 27th Biennial Symposium on Communications* in Kingston, Canada, in 2014. You can find Mansoor's biography on p. 5.

*Mansoor I. Yousefi erhielt 2013 und 2014 zwei Best Paper Awards bei Konferenzen sowie 2013 einen Doktorandenpreis der University of Toronto.*



Georg Böcherer bei der Preisverleihung in Aachen mit Dr. Helge Erik Lüders vom Bereich Radio & Transport Networks bei E-Plus (Dezember 2013)



**Rana Ali Amjad**, M.Sc., Ph.D. student at LNT under the supervision of Prof. Kramer since January 2014, received an *Academic Award for top students in the MSCE program* at TU München on 22<sup>nd</sup> October 2013. He was awarded the *Walter Gademann Masterpreis* of the TUM Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering on 7<sup>th</sup> November 2014.



*Rana Ali Amjad wurde 2013 bei der MSCE-Graduierungsfeier als einer der besten Studenten des Jahrgangs 2011–2013 ausgezeichnet und erhielt am 07.11.2014 den Walter Gademann Masterpreis der TUM-Fakultät EI (siehe oberes Foto).*

## 2 Personelles

**Joschi Brauchle**, M.S., Akademischer Rat und Doktorand am LNT, erhielt beim Tag der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik 2013 für die *Betreuung der Übung zu Channel Coding einen Dozentenpreis*. Diesen Preis vergibt die Fachschaft Elektrotechnik und Informationstechnik jedes Jahr an Dozenten unserer Fakultät, die auf dem Gebiet der Lehre mehr leisten, als für einen guten Lehrbetrieb nötig wäre (Foto in der Mitte).



*Joschi Brauchle was awarded the Dozentenpreis 2013 for teaching the tutorial to Channel Coding. The award is given by the student association of our faculty.*

Dipl.-Ing. **Tobias Fehenberger**, wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Hanik, wurde für seine herausragende Diplomarbeit „Investigations into the Nonlinear Capacity Limits of Fiber-optical Communication Systems“ mit dem *Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis* geehrt. Der mit 500 € dotierte Preis ist nach unserem 2009 verstorbenen Lehrstuhlinhaber benannt. In Kapitel 9.5 berichten wir über die feierliche Preisübergabe im Stadtsaal der Stadt Kronberg/Taunus und die Laudatio von Prof. Hanik.



*Tobias Fehenberger was the winner of the Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis 2014 for his outstanding Diploma Thesis. The prize was initiated 2009 and is endowed by the parents of Ralf Kötter.*

**Onur Günlü**, M.Sc., Ph.D. student at LNT under the supervision of Prof. Kramer since February 2014, received an *Academic Award for top students in the MSCE program* at TU München on 22<sup>nd</sup> October 2013, together with his colleague R. A. Amjad. In fall 2014 he won the 1<sup>st</sup> prize in the competition *Hands-On Project Digital Society*, a competition sponsored by a number of important German organizations like Alexander-von-Humboldt Foundation, DAAD, and Goethe Institute. He was part of the team *Digitizer* with the project *Profit Optimization through Enterprise Collaboration using Digital Media*.



*Onur Günlü wurde 2013 als einer der besten Studenten seines MSCE-Jahrgangs ausgezeichnet (siehe unteres Foto) und wird am 25.11.2014 beim BITKOM Trendkongress in Berlin den ersten Preis im Wettbewerb Hands-On Project Digital Society in Empfang nehmen dürfen.*

**Michael Heindlmaier**, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT, wurde mit dem *Qualcomm Innovation Fellowship (QInF)* 2013 für sein Forschungsvorhaben *Implementation and Optimization of Noisy Network Coding Schemes* ausgezeichnet. Die mit 10.000 € dotierte Förderung soll herausragende Doktoranden der Elektro- und Informationstechnik bei der Umsetzung innovativer Ideen unterstützen.



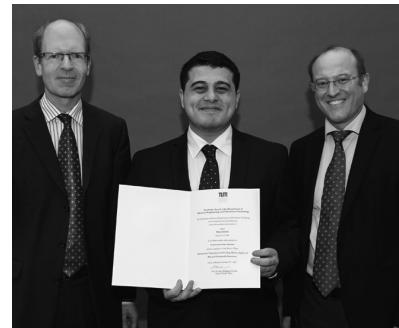
*Michael Heindlmaier was awarded the Qualcomm Innovation Fellowship 2013 for his research. The goal of the fellowship is to enable outstanding Ph.D. students to pursue their ideas.*



R. Ali Amjad (2. von li.) und zwei weitere Gewinner mit dem Preisstifter Walter Gademann (Mi.) und Emeritus Prof. Jörg Eberspächer (re.) am 07.11.2014



Joschi Brauchle mit dem Dozentenpreis, mit dem er am Tag der Fakultät 2013 durch die Fachschaft Elektrotechnik und Informationstechnik geehrt wurde



Onur Günlü bei der Überreichung der Urkunde durch die MSCE-Direktoren Ulf Schlichtmann und Gerhard Kramer im Oktober 2013

# 2

## Personelles



Nuala Kötter (1965 – 2013)

### 2.9 Alumni-Nachrichten und Persönliches

Wir müssen diese Rubrik leider mit einer sehr traurigen Nachricht beginnen. Im Dezember 2013 verstarb **Nuala Ann Kötter**, die Witwe unseres letzten Lehrstuhlinhabers Ralf Kötter im Alter von nur 48 Jahren. Nuala erkrankte kurz nach Ralfs Tod ebenfalls schwer. Bis Mitte letzten Jahres schien es so, als hätten Nualas Ärzte ihre Erkrankung im Griff. Im Herbst verschlechterte sich jedoch ihre Situation, rapide und unaufhaltsam. Sie verstarb knapp fünf Jahre nach Ralf am 06.12.2013 in München.

Nuala wurde 1965 in Dublin geboren und studierte nach dem Abitur Literaturwissenschaften in Dublin mit einigen Studienaufenthalten in Deutschland, was ihre vorzüglichen Deutschkenntnisse erklärt. Später ging sie in die USA und arbeitete als Bibliothekarin an der Universität in Urbana-Champaign. Dort lernte sie bald Ralf kennen, und sie heirateten 2001. Im Frühjahr 2007 kamen Nuala, Ralf und ihr damals zweijähriger Sohn Finn nach München, aber schon drei Monate später begann für sie eine durch Ralfs Krankheit geprägte Leidenszeit. Trotzdem beschloss Nuala nach Ralfs Tod, mit ihrem Sohn Finn in München zu bleiben, wo er zur Schule ging, neben der englischen auch die deutsche und die bayerische Sprache lernte und in München viele Freunde fand. Auch unserem Lehrstuhl blieben Nuala und Finn weiter eng verbunden.

Der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik und die Kollegen aus der Fakultät werden Nuala und Ralf Kötter stets ein ehrendes Andenken bewahren. Ihr jetzt zehnjähriger Sohn Finn lebt nun in der Familie von Nualas Schwester in Dublin. Wir wünschen ihm von ganzem Herzen eine unbeschwerliche und glückliche Kindheit und Jugendzeit in Irland, aber auch eine bleibende Verbindung zu Deutschland, der Heimat seines Vaters und seiner Großeltern.

Mit großer Freude geben wir bekannt, dass Dr.-Ing. **Leonardo Didier Coelho** einen Ruf an die Universidade Federal de Pernambuco in seinem Geburtsort Recife/Brasilien erhalten und diesen zum 01.09.2014 auch angenommen hat. Sein Fachgebiet ist *Simulation und Optimierung von Kommunikationssystemen*. Leonardo absolvierte den MSCE-Studiengang von 2003 bis 2005 und war danach wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor Hanik, bei dem er im Dezember 2010 zum Thema *Modeling, Simulation, and Optimization of Optical Communication Systems using Advanced Modulation Formats* promovierte. Danach war er noch ein Jahr als Postdoc im Fachgebiet LÜT tätig, bevor er zu Nokia Siemens Networks (NSN, nach Umbenennung Coriant) wechselte. Er ist der einzige Doktorand des LNT in den letzten Jahren, der von seiner Master Thesis über verschiedene Forschungsprojekte, seiner Dissertation und seiner Industrietätigkeit bis hin zur Professur immer auf dem gleichen Arbeitsgebiet tätig sein konnte, nämlich der Optimierung optischer Übertragungssysteme. Herzlichen Glückwunsch, Leonardo!



Zum 01.02.2013 ist unser langjähriger Mitarbeiter Dr.-Ing. **Christoph Hausl** auf eigenen Wunsch vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik ausgeschieden. Er ist seitdem als Entwicklungsingenieur für digitale Signalverarbeitung bei der Firma Rohde & Schwarz in München tätig und damit Kollege von Florian Breyer, Christian Kuhn, Timo Mayer und Johannes Zangl, die alle ebenfalls an unserem Lehrstuhl promovierten. Christoph kam 2004 an den LNT, bearbeitete ein gemeinsames Forschungsprojekt mit DoCoMo Eurolabs und promovierte 2008 zum Thema *Joint Network-Channel Coding for Wireless Relay Networks*. Bei dieser Promotion war Ralf Kötter das einzige Mal der Erstgutachter an der TU München.

Wir danken Christoph für sein großes Engagement und auch sein vielfältiges Können in Forschung und Lehre, aber auch als Verwaltungschef des LNT nach dem Ausscheiden von Dr. Klaus Eichin im Herbst 2011. Die Verwaltungsaufgaben hat nun Dr. Georg Böcherer übernommen.



G. Kramer, Chr. Hausl und G. Böcherer

Der langjährige LNT-Mitarbeiter Dr.-Ing. **Thomas Stockhammer**, der 2004 zusammen mit Prof. Joachim Hagenauer und Dr.-Ing Ingo Viering das Start-up *Nomor Research GmbH* gründete, ist zum 31.07.2014 als einer der beiden *Nomor-Geschäftsführer und -Gesellschafter* im *gegenseitigen Einvernehmen* ausgeschieden. Seitdem ist Dr. Stockhammer als *Director Technical Standards* bei der Firma *Qualcomm Technologies* mit ähnlichem Aufgabenbereich tätig und spart sich so jährlich 80.000 Pendelkilometer zwischen dem Chiemgau und München. Diese Strecke musste er Jahr für Jahr seit seinem Studienbeginn an der TU München Anfang der 1990er Jahre zurücklegen.

Der Kontakt zwischen dem LNT und Nomor Research bleibt über unseren Lehrbeauftragten Ingo Viering weiter bestehen.

Auch 2013 und 2014 hat sich der LNT wieder beim **Münchener Firmenlauf** in Mannschaftsstärke beteiligt. Die Laufstrecke für die 30.000 Teilnehmer aus rund 1.400 bayerischen Unternehmen führte auf einem 6,38 Kilometer langen Rundkurs durch den Olympiapark und endete mit dem Zieleinlauf ins Olympiastadion durch das große Marathontor, bejubelt von Tausenden von Fans und läuferisch eher passiven Kollegen.

Als fittester Konzern wurde die BMW AG geehrt, die 1.300 Teilnehmer an den Start brachte. Das LNT-Team bestand aus Elisabeth Georg, Stefan Dierks, Joschi Brauchle und Manfred Danzer (nicht auf dem Foto). Vergleicht man die Mitarbeiterzahlen (40 gegenüber 110.000), so fragt man sich schon: Warum wurde BMW ausgezeichnet und nicht wir?

Für den Zeitraum 2012–2014 sind auch einige Eheschließungen von aktuellen und ehemaligen LNT-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeitern zu vermelden:

- Im Mai 2013 heirateten **Shirin Saeedi** und **Hamed Hassani**.
- Im Juli 2013 war die Hochzeit von **Johanna Weindl** und **Bernhard Göbel**.
- Im Oktober 2013 heirateten **Andrei Nedelcu** und **Sadaf Pirhadi**.
- Im März 2014 war die Hochzeit von **Beril Inan** und **Firat Vurul**.
- Im Juni 2014 heirateten **Elisabeth Georg** und **Tobias Oberleithner**.

Die Kolleginnen und Kollegen von LNT und LÜT gratulieren herzlich und wünschen allen Neuvermählten eine fantastische Zukunft.

Die unteren Fotos zeigen stellvertretend die Ehepaare Weindl-Göbel und Oberleithner an ihrem Ehrentag.

Die Heirat von Dr.-Ing. Johanna Weindl und Dr.-Ing. Bernhard Göbel war in der 114-jährigen Geschichte unseres Lehrstuhls erst die fünfte mit beidseitigem LNT-Hintergrund. Beide sind seit 01.07.2014 nach fünf bzw. drei Jahren in Wolfsburg wieder in München und bei der BMW AG tätig.



Elisabeth und Tobias Oberleithner



Johanna Weindl und Bernhard Göbel



Stefan, Elli und Joschi aus unserem Firmenlaufteam

Mit den Eheschließungen waren auch einige Namensänderungen verbunden, so zum Beispiel von Dr. Beril Inan zu Dr. Beril Inan-Vurul. Wir schreiben in diesem Bericht aber weiterhin von Frau Elisabeth Georg, bewusst ignorierend, dass es seit Monaten an LNT/LÜT nur Frau **Elisabeth Oberleithner** gibt. Zum neuen Studienjahr am 01.10.2014 vollziehen auch wir die Namensänderung.

Es folgen freudige Meldungen aus dem Nachwuchsbereich, allerdings nur solche, die uns bekannt sind (manchmal erfährt man erst Jahre später davon):

- |            |  |
|------------|--|
| Febr. 2014 | <b>Charlotte Breyer</b> – ihr Vater Florian war ab 2005 Mitarbeiter im Fachgebiet LÜT und promovierte 2010 bei Prof. Hanik,    |
| März 2014  | <b>Theresa Hausmann</b> – erstes Kind eines aktiven LNT-lers seit langem: Ihr Vater Michael Heindlmaier ist seit 2008 bei uns. |
| Juni 2014  | <b>Poyraz Vurul</b> – seine Mutter Beril Inan promovierte vier Wochen vor der Geburt. Derzeit ist Beril in Mutterschutz.       |



Charlotte und Florian Breyer



Theresa mit ihren Eltern Christina und Michael

Wir schließen die Rubrik mit den runden Geburtstagen. Wahrscheinlich ist der Anteil derjenigen, die im zweijährigen Berichtszeitraum 2012–2014 einen runden Geburtstag feiern konnten, genau so hoch wie in den Jahren zuvor, nämlich 20%. Aber wir berücksichtigen nur Jubilare mit 40 Jahren und älter, haben von diesen auch nicht alle erfasst, und einige von denen, die wir erfasst hatten, wollten nicht genannt werden. Wir gratulieren allen genannten und ungenannten Geburtstagskindern gleichermaßen ganz herzlich!

Zum 40. Geburtstag:

Herrn **Günther Liebl**, Assistent am LNT von 2000 – 2006,  
Herrn Dr.-Ing. **Ingo Viering**, Lehrbeauftragter des LNT seit 2008,  
Herrn Dr.-Ing. **Johannes Zangl**, Assistent am LNT von 2000 – 2005.

Zum 50. Geburtstag:

Frau **Doris Dorn**, Büroangestellte seit 1993 mit immer mehr Aufgaben,  
Frau **Daphne Popescu**, Gastwissenschaftlerin/Mitarbeiterin von 1990-1995.

Der Redakteur bedankt sich an dieser Stelle herzlich bei Frau Doris Dorn für die große Unterstützung, die er durch sie täglich erfährt, nicht nur bei der Erstellung dieses Heftes. Liebe Doris, Du machst 'nen tollen Job. Günter.

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### 3.1 Einige allgemeine Bemerkungen

Gerhard Kramer und Günter Söder

On following pages you will find a list of courses offered by our institute for the students of the Department of Electrical Engineering and Information Technology (EI) during the report period 2012 – 2014. Chapters 3.2 and 3.3 describe the courses of Prof. Gerhard Kramer (LNT) and his staff for

- Bachelor students (EI-BSc)
- Master students (EI-MSc) and the students of the MSCE program.

The courses of Prof. Norbert Hanik (LÜT) and his staff for Master students (EI-MSc) and students of the MSCE program are summarized in Chapter 3.4. In Chapter 3.5 you will find the courses for students of *Lehramt an Beruflichen Schulen* (LB). The abbreviations in the list are

V: Vorlesung (Lecture)

Ü: Übung (Tutorial)

P: Praktikum (Laboratory)

S: Seminar

PF: Pflichtfach (Mandatory Course)

WA: Wahlfach (Elective Course),

Nachfolgend sind alle Lehrveranstaltungen von LNT und LÜT aufgeführt. Erfreulich aus Sicht der Studierenden ist, dass durch eine weitere Studienreform ab dem Studienjahr 2013/2014 (fast) jede Vorlesung mit mindestens 5 ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*) bewertet wird. „Fast“ berücksichtigt, dass die Vorlesung *Nachrichtentechnik 1* derzeit noch gemeinsam mit *Regelungstechnik 1* das Grundmodul

*Systeme* (mit 9 ECTS) bildet. Ab dem nächsten Studienjahr wird NT1 ein eigenständiges Modul mit 5 ECTS.

Auch wir begrüßen diese Nachjustierung der Bologna-Reform durch die Fakultät, auch wenn unsere Professoren und Mitarbeiter durch die damit meist einhergehende Erhöhung von „2V + 1Ü“ auf „3V + 1Ü“ oder „2V + 2Ü“ in der Lehre noch mehr belastet werden.

Gegenüber dem Tätigkeitsbericht 2012 hat sich hinsichtlich Lehre einiges verändert, unter Anderem bedingt durch das Ausscheiden von Dr. Hausl im Januar 2013. Wir danken ihm an dieser Stelle herzlich für sein überdurchschnittliches Engagement für die Lehre. Daneben sollen noch weitere Veränderungen erwähnt werden:

- *Mobile Communications* liest nun Prof. Kramer und zwar im B.Sc.-Studiengang.
- *Information Theory und Channel Coding* haben Prof. Kramer und Dr. Böcherer übernommen.
- Es gibt zwei neue Vorlesungen (EI7411 und EI7412) von Dr. Liva und Dr. Böcherer.
- Zwei Praktika (EI0679, EI7233) werden nun ebenfalls in englischer Sprache abgehalten.

Im Kapitel 3.6 sind die Kurse aufgeführt, die von LNT-Dozenten an anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen gehalten wurden. In den Kapiteln 3.7 und 3.8 sind die in unseren beiden Studentenseminaren gehaltenen Referate aufgelistet.

#### 3.1 Einige allgemeine Bemerkungen

#### 3.2 LNT-Veranstaltungen für EI-BSc

#### 3.3 LNT-Veranstaltungen für EI-MSc und MSCE

#### 3.4 LÜT-Veranstaltungen für EI-MSc und MSCE

#### 3.5 Studiengang Lehramt an beruflichen Schulen (LB)

#### 3.6 Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM

#### 3.7 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

#### 3.8 Seminar on Topics in Communications Engineering

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### Nachrichtentechnik 1

PF für EI-BSc 4 (Modul Systeme)  
SS 2013: Kramer mit Heindlmaier  
SS 2014: Kramer mit Hou  
Nr. EI0300: 2V + 1Ü, 4.5 ECTS

### 3.2 LNT-Lehrveranstaltungen für EI-BSc

Quellensignale und ihre Spektren. Abtasttheorem, Quantisierung. Basisbandübertragung: Impulsformen und ihre Spektren, Nyquist-Bedingung, Augendiagramm. Übertragungskanal, Detektion im Rauschen, Matched-Filter, Fehlerwahrscheinlichkeiten bei antipodischer und orthogonaler Übertragung. Lineare digitale Modulationsverfahren (PSK, QAM), Gauß-Kanal (AWGN), diskreter Kanal (BSC), PCM mit Fehlern, korrelative Codierung.

### Nachrichtentechnik 2

WA für EI-BSc 5  
WS 2012/13: Kramer mit Dierks  
WS 2013/14: Kramer mit Dierks  
Nr. EI0635: 2V + 2Ü, 5 ECTS

Bandpass-Signale und -Systeme, analytisches Signal, Hilbert-Transformation. Digitale Modulationsverfahren: FSK, MSK, CPM, PSK, DPSK, QPSK, OQPSK, QAM. Demodulationsverfahren: Kohärente und nichtkohärente Demodulationsprinzipien. Entzerrung: Lineare und nichtlineare Entzerrer. OFDM. Elemente der Informationstheorie. Shannon-Grenze für AWGN und BSC.

### Grundpraktikum

#### Nachrichtentechnik

WA für EI-BSc 5/6  
WS 2012/13: Kramer mit Stinner  
SS 2013: Kramer mit Stinner  
Nr. EI0419: 4P, 3 ECTS

Charakteristische Versuche und Messungen an nachrichtentechnischen Systemen: Analoge Modulationsverfahren (AM, FM). Bildcodierverfahren (PCM, DPCM, DCT). Codemultiplexsysteme (CDMA). Digitale Modulationsverfahren (BPSK, QPSK, QAM). Digitale Signaldarstellung (Abtastung, Quantisierung, Binärcodierung). Digitale Basisbandübertragung (Kanäle, Eigenschaften digitaler Signale, Signaldetektion). Diversität (Zeit-, Frequenz- und Raumdiversität, schnelles Fading, langsames Fading).

### Basic Laboratory Course

#### on Telecommunications

WA für EI-BSc 5/6  
WS 2013/14: Kramer mit Stinner  
SS 2014: Kramer m. Günlü, Nedelcu  
Nr. EI0679: 4P, 5 ECTS

The laboratory consists of the following experiments: Image Coding (COD), Digital Baseband Transmission (DBT), Diversity in Mobile Communications (DMC), Digital Modulation Schemes (DMV), Pulse Code Modulation (PCM), Code Division Multiple Access (CDMA). The purpose of this laboratory is the enhancement of topics of *Nachrichtentechnik 1* and *Nachrichtentechnik 2*.

### Mobile Communications

WA für EI-BSc 6  
SS 2013: Barletta mit Bartz  
SS 2014: Kramer mit Bartz  
Nr. EI0634: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Introduction to mobile communication systems. Models for mobile radio channels: path loss models, slow fading (shadowing), fast fading channels, frequency and time selective channels, delay and Doppler spread, multipath propagation. Derivation of error probabilities due to fading and noise. Equalization for mobile communication systems: maximum ratio combining, zero-forcing, MMSE equalizer, Viterbi algorithm. Channel and noise estimation. The physical layer of UMTS and LTE, associated with an introduction of CDM(A), OFDM(A), MIMO and scheduling techniques.

### 3.3 LNT-Lehrveranstaltungen für EI-MSc und MSCE

Review of probability theory. Information theory for discrete and continuous variables: entropy, informational divergence, mutual information, inequalities. Coding of memoryless sources: rooted trees with probabilities, Kraft inequality, entropy bounds on source coding, Huffman codes, Tunstall codes. Coding of stationary sources: entropy bounds, Elias code for the positive integers, Elias-Willems universal source coding, hidden finite-memory sources. Channel coding: memoryless channels, block and bit error probability, random coding, converse, binary symmetric channel, binary erasure channel, symmetric channels, real and complex AWGN channels, parallel and vector AWGN channels, source and channel coding.

This course gives an introduction to the design of algebraic codes. Concepts from abstract algebra are introduced successively. Topics covered: communication channel model, block-based transmission, MAP and ML detection. Rate, reliability, delay. Linear block codes: vector spaces, Hamming geometry, syndrome decoding. Cyclic codes, cyclic encoder. Reed-Solomon codes, finite fields. BCH codes, decoding. Design of Reed-Solomon and BCH codes.

Introduction to error-control coding. Review of information theory. Binary block codes: properties, ML and MAP decoding, construction and performance of the single parity check code and the repetition code. Linear binary block codes: definition and properties of the Hamming space, syndrome decoding, cyclic codes, introduction to common code families (Hamming, Reed Muller, CRC codes), performance and minimum distance bounds. Binary convolutional codes: descriptions, distance properties, puncturing, Viterbi decoding. Galois fields: properties, construction methods. Linear block codes over Galois fields (here: Reed Solomon codes): construction, properties, encoding algorithms, bounded minimum distance decoding (Berlekamp Massey algorithm). BCH codes: construction, properties. Concatenated codes: construction methods, iterative decoding.

Erarbeiten der charakteristischen Eigenschaften von Nachrichtenübertragungsverfahren mit Hilfe interaktiver Grafikprogramme, insbesondere: Analoge Modulationsverfahren (AM, PM, FM), digitale Modulationsverfahren (ASK, FSK, PSK), Impulsinterferenzen und Entzerrung (Nyquistsysteme, Entscheidungsrückkopplung, Korrelations- und Viterbi-Empfänger), digitale Kanalmodelle und deren Anwendung auf Multimediateien, Mobilfunkkanal, Bandspreizverfahren und CDMA-Systeme, wertdiskrete Informationstheorie (Quellencodierung, Kanalkapazität, Huffman-Algorithmus).

Introduction to digital communication systems based on computer simulations: signal properties, signal processing (filtering, sampling, quantization). Principles of source and channel coding, channel properties, optimal receiver filters, baseband transmission, intersymbol interference. Nyquist criteria. Digital modulation schemes via carrier frequency. Time/frequency/space-diversity schemes.

#### **Information Theory**

WA für EI-MSc 1 und MSCE-CS 1  
WS 2012/13: Kramer mit Saeedi  
WS 2013/14: Kramer mit Lutz  
Nr. EI5005: 2V + 2Ü, 5 ECTS

#### **Channel Coding**

WA für EI-MSc 1 und MSCE-CS 1  
WS 2013/14: Böcherer mit Stinner  
Nr. EI7316: 2V + 2Ü, 5 ECTS

#### **Channel Coding**

WA für EI-MSc 2, PF für MSCE-CS 2  
SS 2013: Rossetto mit Brauchle  
Nr. EI5008: 2V + 1Ü, 3 ECTS

#### **Praktikum Simulation digitaler Übertragungssysteme**

WA für EI-MSc 1  
WS 2012/13: Söder  
WS 2013/14: Söder  
Nr. EI7124: 4P, 5 ECTS

#### **Communications Laboratory**

WA für MSCE-CS 1  
WS 2012/13: Hausl mit Işcan  
WS 2013/14: Kramer mit Işcan  
Nr. EI5032: 4P, 6 ECTS

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### **Multi-user Information Theory**

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2013: Kramer mit Saeedi  
SS 2014: Saeedi mit Amjad  
EI7353: 2V + 2Ü, 5 ECTS

Typical sequences and sets. Lossy source coding. Distributed source coding. Lossy source coding with side information. Coding for channels with state. Broadcast channels. Multi-access channels. Interference channels. Relay channels. Memoryless networks. Multi-access channels with generalized feedback. Network flow. Network coding.

### **Channel Codes for Iterative Decoding**

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2014: Liva mit Matuz, Stinner  
EI7411: 3V + 1Ü, 5 ECTS

What is considered as modern coding theory today deals with iterative information processing. This course focuses on binary block and convolution codes, soft-input soft-output decoding, product codes, turbo codes, low-density parity-check codes, and LT/Raptor codes.

### **Coded Modulation**

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2014: Böcherer mit Fehlberger  
EI7412: 3V + 1Ü, 5 ECTS

A digital modulation system provides the interface between a physical medium serving as a communication channel and a coding system for error correction. In this course, we develop design rules for digital modulation systems using tools from information theory. Topics covered: Capacity of the AWGN channel, asymptotic limits for reliable communication. Constrained input: uniform input distribution, finite input constellations. Probabilistic shaping: capacity-achieving input distributions. Code taxonomy, Gray labeling of constellations, binary encoding for capacity-achieving distributions. Bit-metric decoding, soft demapping, L-values. Receiver quantization.

### **Advanced Topics in Communications Engineering**

WA für EI-MSc 2, PF für MSCE-CS 2  
SS 2013: Narayan mit Lutz  
EI5006: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Kullback-Leibler divergence, hypothesis testing, Sanov's theorem. Information geometry, f-divergence, Renyi entropy. I-projection onto linear families, iterative computation. Iterative algorithm for finding the minimum divergence between two convex sets of distributions, the EM algorithm.

### **Advanced Topics in Communications Engineering**

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2014: Thangaraj mit Lutz, Günlü  
EI5082: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Review of the basic definitions of Information Theory. Typicality and the channel coding theorem. Perfect secrecy, one-time pad. Wiretap channel, equivocation, information-theoretic secrecy. Secrecy capacity. Linear block codes. Coding for wiretap channels. Linear block codes for erasure wiretap channels. Examples: LDPC and polar codes for wiretap channels.

### **Praktikum Drahtlose Nachrichtentechnik**

WA für EI-MSc 2  
SS 2013: Hausl mit İşcan  
Nr. EI7233: 4P, 3 ECTS

Ziel des Praktikums ist das Erlernen und Anwenden von Methoden der drahtlosen Nachrichtentechnik anhand des Beispiels digitaler Radio. Zu diesem Zweck wird von den Praktikumsteilnehmern ein Empfänger für digitales Radio nach dem DAB-Standard realisiert, wobei nach dem „Software-defined-Radio“-Prinzip der Großteil des Empfängers in Software programmiert ist. Die im Praktikum verwendete Hardware erlaubt es, von einer Antenne empfangene und ins Basisband runtergemischte Signale direkt zu bearbeiten. Die Implementierung erfolgt mit den Programmiersprachen Matlab und mit GNU radio. Insbesondere werden folgende Themen behandelt: Synchronisation im Zeit- und Frequenzbereich, Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM) Modulation, Differentielle Modulation, Kanalcodierung, Filterentwurf, Vergleich mit analogem Radio.

The aim of the course is to learn methods of wireless communications. The participants will create a digital radio receiver according to the DAB-Standard. They will use the „software-defined-radio“ principle. The following topics are considered in detail: Time and frequency synchronization. Orthogonal Frequency-division multiplexing (OFDM) modulation. Differential modulation. Channel coding. Filter design. Comparison with analog transmission schemes. Matlab and GNURadio will be used as programming languages.

Application scenarios for cooperative communications. Information-theoretic limits. Relaying strategies: decode-and-forward, compress-and-forward, amplify-and-forward. Half-duplex constrained and full-duplex relaying. Cooperative diversity. Resource allocation. Distributed channel coding. Network coding. Virtual antenna arrays. Relay selection.

Cellular systems: cell layout, antenna pattern, pathloss, shadowing, link budgets, mobility/handover/cell selection. Radio access systems: WCDMA, distributed/localized OFDM/OFDMA, single carrier FDMA duplex methods. TDD/FDD interference: intracell interference, self-interference, intercell interference, methods for interference mitigation. PHY mechanisms: power control, loading, adaptive modulation and coding. MAC scheduling: channel dependence, QoS impact, frequency dependence, impact on physical layer. MAC/RLC/PDCP: IP convergence, robust header compression, segmentation. HARQ MIMO: diversity techniques, achievable gains, single/double stream, open/closed loop techniques. X-layer: OSI model, shared channels. Packet switched / circuit switched system architecture: mobile stations, base stations, central nodes, gateways, interfaces. Existing systems: UMTS/HSDPA/HSUPA/HSPA evolution, LTE (long term evolution), WiMAX. Coexistence: problems with neighboring bands services/applications/higher layer, codecs, broadcast services, bearers, QoS transfer.

Es werden verschiedene Themen aus den Gebieten der Digitalen Kommunikationstechnik ausgewählt, die von den Studenten selbstständig bearbeitet werden, zum Beispiel Sprach- und Videocodierung, Multimedia-Übertragung, AdHoc-Netzwerke, optische Übertragungstechnik sowie Informationstheorie und Kanalcodierung. Jeder Student fasst die Ergebnisse schriftlich zusammen und hält einen wissenschaftlichen Vortrag. Themenliste siehe Kapitel 3.7.

This is a joint seminar of the Institute for Communications Engineering (LNT) and the Institute of Communication Networks (LKN). It is an elective course for the students in the 3rd semester of the Master of Science in Communications Engineering (MSCE) program. Each participant of the seminar is assigned a current topic from the areas of Multimedia Communications over the Internet, Coding and Signal Processing for Sources, Channels and Equalization, Network Coding and Network Information Theory or Optical Communications. The aim of the seminar is that the students use scientific literature to gain a good understanding of the assigned topic, and that they convey the main ideas in the form of a brief report and a presentation (see Chapter 3.8).

### **Wireless Communications Laboratory**

WA für EI-MSc 2  
SS 2014: Kramer mit Günlü, Nedelcu  
Nr. EI7233: 4P, 5 ECTS

### **Cooperative Communications**

WA für EI-MSc 3 und MSCE-CS 3  
WS 2012/13: Hausl  
Nr. EI5061: 2V + 1Ü, 3 ECTS

### **System Aspects in Communications**

WA für EI-MSc 3 und MSCE-CS 3  
WS 2012/13: Viering mit Thakur  
WS 2013/14: Viering mit Nedelcu  
Nr. EI5009: 2V + 1Ü, 5 ECTS  
Nr. EI5006: PF für MSCE 2

### **Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme**

WA für EI-MSc 2/3  
im WS: Kramer, Hanik, Hou  
im SS: Kramer, Hanik, Fehnberger  
Nr. EI7762: 3S, 5 ECTS

### **Seminar on Topics in Communications Engineering**

WA für MSCE-CS 3  
WS 2012/13: Kramer, Hanik, Thakur  
WS 2013/14: Kramer, Hanik, Hou  
Nr. EI5034: 3S, 6 ECTS

# 3

Lehr-  
veranstaltungen

## Leitungsgebundene Übertragungstechnik

WA für EI-MSc 1  
WS 2012/13: Hanik mit  
Fehlenberger  
WS 2013/14: Hanik mit  
Fehlenberger  
Nr. EI7346: 2V + 1Ü, 5 ECTS

## 3.4 LÜT-Lehrveranstaltungen für EI-MSc und MSCE

Struktur des Kommunikationsnetzes: Zugangsnetz, Regional-/Fernnetz, globales Netz. Sendesignalformen und Leistungsdichtespektren digitaler Übertragungssysteme: NRZ, RZ, AMI, Duobinär, HDB3, 4B3T, QAM, CAP. Übertragungsmedium Kupfer-Doppelader: Leitungsgleichungen, Dämpfungs- und Phasenfunktion, Reflexionen, Nebensprechen. Eigenschaften von Koaxialkabeln. Digitale Übertragung: Augenmuster, Intersymbol-Interferenz, Augenöffnung, Rauschen, Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Lineare und nichtlineare Entzerrung, optimale Empfänger. Übertragungssysteme über Kupferkabel: analoge / digitale Sprachübertragung, ISDN, xDSL, Kabel-TV. Das Übertragungsmedium Glasfaser: Laser, Standardfaser, Photodiode, optische Verstärker, Dispersionskompensation. Optische Signalübertragung: Dispersion, Polarisations-Modendispersion, Rauschakkumulation, Bitfehlerrate. WDM-Technik, optisches Netz.

## Optical Communication Systems

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2013: Hanik mit Chen  
SS 2014: Hanik mit Chen  
Nr. EI5075: 3V + 1Ü, 6 ECTS  
Nr. EI2185: PF für LB-BSc 3

Structure of optical WDM transmission systems. Basic properties of standard single mode fibres: attenuation, chromatic dispersion, polarisation mode dispersion. Fiber nonlinearities: four-wave mixing, Raman scattering, self- and cross-phase modulation, Brillouin scattering. Modelling optical signal propagation using the nonlinear Schrödinger equation. Optical amplifiers. Optical filters. Generation and detection of various modulation schemes: NRZ/RZ intensity modulation, suppressed carrier RZ, chirped RZ, RZ-DPSK, duobinary modulation, QAM. Optical OFDM. Direct detection, coherent detection. Optical transmission systems: Bit Error Rate, system margin, system penalty. Optimized system design: high-channel WDM systems, ultra-long-haul systems, ultra-high channel data rates, soliton systems.

## Simulation of Optical Communication Systems

### Laboratory

WA für EI-MSc 2 und MSCE-CS 2  
SS 2013: Hanik mit Inan  
SS 2014: Hanik mit Khanna  
Nr. EI5030: 4P, 6 ECTS

This Lab Course offers a hands-on introduction to the simulation, optimization and physical properties of optical communication systems using a commercially available photonic system design software (Optiwave Photonic Design Tools). In the first lab sessions, the basic components of optical transmitters and receivers are described and analyzed in simulations. The following sessions treat the linear and nonlinear effects that occur in transmission over optical fiber and the corresponding consequences for transmission quality. In the concluding sessions, the optimization of optical communication systems is covered as well as fiber amplifiers and transmission over multimode-fiber.

### 3.5 Studiengang Lehramt an Beruflichen Schulen (LB)

Klassifizierung von Signalen, Abgrenzung Datenverarbeitung – Datenübertragung. Grundlegende Elemente der Datenverarbeitung: Beschreibung von Schaltnetzen, Boolesche Algebra, Schaltfunktionen, disjunktive und konjunktive Normalform, Minimierung von Schaltfunktionen. Zahlensysteme, Rechnen im Dualsystem. A/D-und D/A-Umsetzung. Schaltwerke. Grundlegende Elemente der Datenübertragung: deterministische und stochastische Signale, periodische Signale (reelle und komplexe Darstellung), Fourier-Reihenentwicklung. Grundlagen der Statistik: Wahrscheinlichkeitsdichte, Verteilungsfunktion und Momente, stationäre und ergodische Prozesse. Schätzung der Bitfehlerrate von Übertragungssystemen und fehlerkorrigierenden Codes.

Signale und Spektren: stochastische, periodische, aperiodische Signale. Fourierreihe, Fourierintegral und Fouriertransformation. Systemtheorie linearer zeitinvarianter Systeme: Übertragungsfunktion, Impulsantwort, lineare Verzerrungen, Faltung.

Grundlagen der Modulation: ZSB- und ESB-Amplitudenmodulation und zugehörige Modulatoren/Demodulatoren. Winkelmodulation. Verzerrungen durch Modulation. Einfluss von Rauschstörungen. Prinzip der digitalen Modulationsverfahren: Zeitdiskrete Signaldarstellung, Pulscodemodulation. Grundlagen der Digitalsignalübertragung.

Typische Versuche aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik: Signale und Spektren, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Pulscodemodulation, Amplitudenmodulation, Frequenzmodulation, Digitalsignalübertragung.

Eigenschaften von Nachrichtensystemen und deren Komponenten, vorwiegend aus dem Bereich der Mobilfunksysteme: Zeitvariante Kanäle, Vielfachzugriffsverfahren. Bekannte Systeme: GSM, GSM2+, CDMA, Grundlagen von UMTS, HSPA.

#### **Grundlagen der Informations-technik (LB)**

PF für LB-BSc 1 und BWL-BSc 3  
WS 2012/13: Hanik mit Georg  
WS 2013/14: Hanik mit Georg  
Nr. EI2981: 2V + 1Ü, 5 ECTS

#### **Signaldarstellung (LB)**

PF für LB-BSc 5 und BWL-BSc 5  
WS 2012/13: Hanik  
WS 2013/14: Hanik  
Nr. EI2985: 2V + 1Ü, 5 ECTS

#### **Modulationsverfahren (LB)**

PF für LB-BSc 6, WA für BWL-BSc 6  
SS 2013: Hanik  
SS 2014: Hanik  
Nr. EI2987: 2V + 1Ü, 5 ECTS

#### **Praktikum Nachrichtentechnik (LB)**

PF für LB-BSc 6  
SS 2013: Söder  
SS 2014: Söder  
Nr. EI2191: 3P, 5 ECTS

#### **Nachrichtensysteme – Kommunikationssysteme (LB)**

WA für LB-MSc 2  
SS 2013: Böcherer  
SS 2014: Böcherer  
Nr. EI2183: 2V + 1Ü, 5 ECTS

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### Fehlerkorrekturverfahren

Söder und Böhnke  
Kompaktkurs DK 1.07 an der  
Carl-Cranz-Gesellschaft e.V.  
Oberpfaffenhofen  
05.03. – 07.03.2013

### 3.6 Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM

Die Carl-Cranz-Gesellschaft (CCG) bietet jährlich über 100 Seminare für hochkarätige technisch-wissenschaftliche Weiterbildung an. Die Veranstaltungen in deutscher und englischer Sprache haben eine Dauer von ein bis fünf Tagen. Sie sind alle aktuell, zukunftsorientiert und praxisnah ausgerichtet.

Der dreitägige Kurs DK 1.07 behandelte binäre Blockcodes, Reed-Solomon-Codes, Faltungscodes und geeignete Decoderalgorithmen. Zudem wurden Einblicke in die Codierte Modulation, die iterative Decodierung verketterter Codes sowie den Entwurf und Anwendungen von iterativ codierten Systemen (Turbo- und LDPC-Codes, Faktographen, EXIT Charts) vermittelt.

### Codierung mit variabler Länge:

Datenkompression und  
Verteilungsanpassung  
Böcherer  
Vorlesung am CDHK  
Tongji University Shanghai  
21.03. – 25.03.2013  
21.04. – 25.04.2014

Das Chinesisch-Deutsche Hochschulkolleg (CDHK) wurde 1998 als Kooperationsprojekt der Tongji-Universität Shanghai und des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) gegründet und ist seitdem das erfolgreichste Projekt im Wissenschaftsaustausch zwischen China und Deutschland. In einem Zeitraum von zwei bis drei Jahren erlangen Studierende aus ganz China am CDHK einen Masterabschluss an den Fakultäten Elektrotechnik, Maschinenbau, Wirtschaft und Wirtschaftsrecht. Gut die Hälfte der CDHK-Studenten erhält ein Stipendium für ein Auslandssemester oder einen Praktikumsplatz in Deutschland. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, an den deutschen Partnerhochschulen TU München und Ruhr-Universität Bochum einen Doppelmasterabschluss (Chinesisch-deutscher Doppelmaster) zu erlangen.

Die Vorlesungen werden in deutscher Sprache gehalten. Zur Lehre tragen neben den chinesischen Wissenschaftlern, die allesamt in Deutschland studiert oder promoviert haben, auch mehr als zwei Dutzend deutsche Gastprofessoren mit Blockvorlesungen bei. Dozenten vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik sind seit 1998 dabei. Die Vorlesungen 2013 und 2014 wurden von Dr. Georg Böcherer gehalten. Sie waren wie folgt gegliedert: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Informationsmaße, Wurzelbäume mit Wahrscheinlichkeiten, Verteilungsanpassung, Datenkompression, Codierung für rauschfreie Kanäle.



Georg Böcherer mit den Studenten des CDHK 2013 und 2014

### Channel Coding

Liva  
Course for the Joint Training  
Program for Postgraduate Students,  
Nanjing University of Science and  
Technology, Changshu (China)  
22.04. – 27.04.2013

Dr. Gianluigi Liva, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen and Senior Lecturer at LNT in 2010, offered a 6-day short course on Channel Coding at the Nanjing University of Science and Technology in Changshu (China). The course was based on the lectures on Channel Coding for TUM Masters students (summer semester 2010). The course topics include basics on binary algebraic block codes, Reed-Solomon codes, trellis codes as well as advanced topics on iterative coding theory.

The IEEE Information Theory Society organizes summer and winter schools in Europe and North America since 2008, and in East Asia, India, and Australia since 2014. Gerhard Kramer was advisor for the European Schools in Macedonia (2013) and Estonia (2014), and the Schools in North America (2013, 2014), East Asia (2014), India (2014) and Australia (2014).

In Macedonia he gave a lecture on *Short Message Noisy Network Coding*. This talk reviewed the development of the NNC strategy and presents recent improvements.



Teilnehmer der European Winter School 2013 in Mazedonien (Foto: P. Popovski)

Die Ferienakademie bietet seit 1984 jedes Jahr ein Kursprogramm an, um begabte und interessierte Studierende der veranstaltenden Universitäten zu fördern. Die Kurse finden in Berggasthäusern im Südtiroler Sarntal statt. Sie werden durch Spenden von Firmen und von Fördervereinen der beteiligten Universitäten (FAU Erlangen-Nürnberg, Uni Stuttgart, TU München) finanziert, wodurch insbesondere die Fahrt- und Aufenthaltskosten der Teilnehmer abgedeckt werden. Ein typischer Ferienakademiekurs sind etwa 14 Studierende und zwei Professoren, das Programm ist meistens seminarähnlich mit Vorträgen der Teilnehmer organisiert. In einigen Kursen wird auch gemeinsam an einem Projekt gearbeitet. Ein Freizeitprogramm, bei dem Bergwanderungen eine große Rolle spielen, ist wesentlicher Bestandteil der Ferienakademie.

2014 wurde der Kurs 7 für Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Informatik, Mathematik sowie Physik gemeinsam von Prof. Ralf Müller (FAU Erlangen) und Prof. Gerhard Kramer (TUM) geleitet: Als Gastdozent wirkte Prof. Stephan ten Brink (Universität Stuttgart) mit. Der Kurs 2013 richtete sich nur an Doktoranden und Postdocs.

TUM-Asia began in Singapore in 2002 as an affiliate of the Technische Universität München (TUM). As the first German academic venture abroad, TUM Asia is supported by the Singapore Government through the Economic Development Board (EDB), and by the German Government through the Federal Ministry of Education and Research and The German Academic Exchange Service (DAAD). The Bachelor of Science in Electrical Engineering and Information Technology program offers the same courses by the same teachers as the Bachelor courses taught in Munich.

The lecture *Digital Communications 1* covers the same topics as the lecture *Nachrichtentechnik 1* in Munich.

### **2013 European School of Information Theory**

Kramer u.A.  
**Ohrid, Mazedonien**  
22.04.2013 – 26.04.2013

### **2014 European School of Information Theory**

Kramer u.A.  
**Tallinn, Estland**  
14.04.2014 – 18.04.2014

### **Advanced Topics in Wireless Communications**

Kramer, Huber und Müller mit Böcherer  
Doktorandenkurs bei der Ferienakademie 2013  
Sarntal, Südtirol, Italien  
22.09. – 04.10.2013

### **Algorithms for Software Defined Radio**

Kramer, Müller, ten Brink mit Günlü  
Kurs 7 bei der Ferienakademie 2014  
Sarntal, Südtirol, Italien  
21.09. – 03.10.2014

### **Digital Communications 1**

Kramer mit Hou  
Vorlesung für TUM-Asia  
Singapur  
19.02.2014 – 28.02.2014

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### 3.7 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

Dieses Hauptseminar ist eine gemeinsame Wahlpflichtveranstaltung des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) und des Fachgebiets Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT), wobei alle Mitarbeiter in die Betreuung eingebunden sind. Das Seminar findet im Wintersemester und im Sommersemester statt. Die Vorträge können in deutscher oder englischer Sprache gehalten werden. Die Organisatoren waren Dipl.-Ing. Jie Hou (jeweils im Wintersemester) und Dipl.-Ing. Tobias Fehnberger (jeweils im Sommersemester).

#### Wintersemester 2012/2013

- 06.12.2012 **Saher Salem** – Betreuer: Dr. Hausl  
Cooperation between Base Stations with Coordinated Multipoint Transmission and Reception Schemes
- 06.12.2012 **Christopher Husmann** – Betreuer: O. İşcan  
Instantaneous Relaying
- 06.12.2012 **Markus Gnadl** – Betreuer: M. Stinner  
LDPC Coding
- 06.12.2012 **Chris Wengerter** – Betreuer: S. Dierks  
The Feasibility of Interference Alignment over Measured MIMO-OFDM Channels
- 13.12.2012 **Felix Trötschel** – Betreuer: T. Fehnberger  
Analytic Modeling of Non-Linear Propagation in Coherent Optical Communication Systems
- 13.12.2012 **Zhu Yuji** – Betreuer: B. Inan  
Digital Signal Processing for Few Mode Fibers
- 13.12.2012 **Chen Jian** – Betreuer: Y. Chen  
Compensation of Impairments using Expectation Maximization

#### Sommersemester 2013

- 13.06.2013 **Kilian Roth** – Betreuer: J. Brauchle (LNT)  
The Fundamental Iterative Algorithm for Decoding of Reed-Solomon Codes
- 13.06.2013 **Thorsten Tetenz** – Betreuer: R. Böhnke (LNT)  
Lattice Reduction Algorithms for MIMO Detection and Precoding
- 13.06.2013 **Sun Moyuan** – Betreuerin: B. Inan (LÜT)  
System Level Few Mode Fiber Experiments
- 13.06.2013 **Markus Jäger** – Betreuer: O. İşcan (LNT)  
Physical-Layer Network Coding: Implementation Aspects
- 20.06.2013 **Sun Zuguang** – Betreuer: A. Nedelcu (LNT)  
Massive MIMO

20.06.2013 **Tasnad Kernetzky** – Betreuer: T. Fehenberger (LÜT)  
Few-Mode Fibers

20.06.2013 **Xia Yang** – Betreuer: S. Dierks (LNT)  
Coordinated Multipoint Transmission and Reception –  
Challenges and Opportunities

#### **Wintersemester 2013/2014**

19.12.2013 **Arthur Smolorz** – Betreuer: H. Bartz (LNT)  
Error Correction in Quick Response (QR) Codes

19.12.2013 **Fabian Bögner** – Betreuer: O. İşcan (LNT)  
Physical Unclonable Functions

19.12.2013 **Jiajing Niu** – Betreuer: S. Dierks (LNT)  
Feasibility of Linear Interference Alignment

19.12.2013 **Christoph Körner** – Betreuer: M. Stinner (LNT)  
Construction and Decoding of Polar Codes

19.12.2013 **Luyun Huang** – Betreuer: M. Heindlmaier (LNT)  
LDPC Codes for Source Coding

#### **Sommersemester 2014**

12.06.2014 **Gudrun Bollmann** – Betreuer: O. İşcan (LNT)  
Physical Unclonable Functions

12.06.2014 **Dietrich Dumler** – Betreuerin: G. Khanna (LÜT)  
Comparison of Memory and Memoryless Behavioral Models  
for High Bandwidth Non Linear Driver Amplifiers in  
Optical Communications Systems

12.06.2014 **Han Jiawei** – Betreuer: H. Bartz (LNT)  
Random Affine Network Coding

26.06.2014 **Thomas Jerkovits** – Betreuer: Dr. Böcherer (LNT)  
Shift-Register Synthesis and BCH Decoding

26.06.2014 **Dominik Kopp** – Betreuer: E. Georg (LÜT)  
In-car Power Line Communications: Advanced Transmission  
Techniques

26.06.2014 **Zhang Hongyi** – Betreuer: Y. Chen (LÜT)  
Laser Phase Noise Compensation Methods for CO-OFDM MIMO

# 3

## Lehr- veranstaltungen

### 3.8 Seminar on Topics in Communications Engineering

This lecture is a joint seminar of the Institute for Communications Engineering (LNT), the Wired and Optical Communication Group (LÜT), and the Institute of Communication Networks (LKN) and a mandatory course of the Master of Science in Communications Engineering program in the 3<sup>rd</sup> semester. The presentations are given by MSCE students. During the course the MSCE students are obliged to prepare a report and give a presentation on latest topics of the Communications Engineering field. Organization by Mohit Thakur (WS 2012/2013) and Jie Hou (WS 2013/2014) from LNT and Andreas Blenk (WS 2012/2013) and Carmen Mas Machuca (WS 2013/2014) from LKN.

#### Wintersemester 2012/2013

- 11.01.2013 **Oleg Klyudt** – Betreuer: J. Brauchle (LNT)  
A Differential Encoding Approach to Random Linear Network Coding
- 11.01.2013 **Onur Günlü** – Betreuer: O. Işcan (LNT)  
Network Coding for the 2-Way Relay Channel
- 11.01.2013 **Yan Yu** – Betreuer: M. Heindlmaier (LNT)  
Compute-and-Forward Relaying
- 11.01.2013 **Rana Ali Amjad** – Betreuer: Dr. Böcherer (LNT)  
Runlength Codes from Source Codes
- 18.01.2013 **Rumpa Sarkar** – Betreuer: M. Klügel (LKN)  
Future of Mobile Networks - Device to Device Communication
- 18.01.2013 **Ginni Khanna** – Betreuer: T. Fehnerberger (LÜT)  
Analytic Modeling of Non-Linear Propagation in Coherent Optical Communication Systems
- 18.01.2013 **Vishwarath Tomar** – Betreuer: H. Ghozlan (LNT)  
Capacity Estimation in Optical Fiber Networks
- 18.01.2013 **Farhan Pervez** – Betreuer: A. Blenk (LKN)  
Quality of Experience Aware Resource Management in Wireless Networks
- 25.01.2013 **Elena Grigoryeva** – Betreuer: A. Blenk (LKN)  
Network Virtualization - Overcoming the Internet Impasse
- 25.01.2013 **Mahfuzur Rahman** – Betreuer: A. Blenk (LKN)  
OpenFlow - Enabling the Software Defined Networking Approach
- 25.01.2013 **Soheil Mohammadi** – Betreuerin: C. Mas Machuca (LKN)  
Network to Network Interfaces in Network Virtualization
- 25.01.2013 **Ajith Bhat** – Betreuer: Dr. Hausl (LNT)  
MIMO Techniques in LTE

## Wintersemester 2013/2014

- 17.01.2014 **Zhong Li** – Betreuer: A. Blenk (LKN)  
A Survey on Local Algorithms - How can SDN Benefit?
- 17.01.2014 **Rahman Ashfaqur** – Betreuer: A. Basta (LKN)  
Network Virtualization Approaches in Software Defined Networks
- 17.01.2014 **Jacob Nikhil** – Betreuer: T. Szrykowiec (LKN)  
Frenetic – A Language for Programming Software-defined Networks
- 17.01.2014 **Yu Xuejie** – Betreuer: A. Basta (LKN)  
Resource Allocation Planning in Distributed Cloud Datacenters
- 24.01.2014 **Mehboob Muhammad Waqa** – Betreuer: A. Nedelcu (LNT)  
MIMO Systems with Mutual Coupling
- 24.01.2014 **Kamkar Farid** – Betreuer: S. Saeedi (LNT)  
A Deterministic Approach to the Gaussian MIMO Broadcast Channel
- 24.01.2014 **Martinez Alcantara Vianney** – Betreuer: T. Fehenberger (LÜT)  
Phase-conjugated Twin Waves
- 24.01.2014 **Pikus Marcin** – Betreuerin: E. Georg (LÜT)  
Reliable Communication under Channel Uncertainty
- 31.01.2014 **Antonio Figueroa Raul** – Betreuerin: C. Mas Machuca (LKN)  
Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Network Planning
- 31.01.2014 **Prunean Adrian** – Betreuer: T. Gehrsitz (LKN)  
Challenges and Solutions for Future in-car Communication Systems
- 31.01.2014 **Prasad Aswathy** – Betreuer: M. Klügel (LKN)  
Game Theory in Wireless Networks
- 31.01.2014 **Xu Yaqi** – Betreuer: J. Guck (LKN)  
Packet Scheduling Mechanisms using Static-priority Queueing
- 07.02.2014 **Haydari Ashik Mahm** – Betreuer: M. Yousefi (LNT)  
Modeling and Simulation of the Multimode Optical Fibers

# 3

Lehr-  
veranstaltungen

- 07.02.2014 **El Khatib Malek** – Betreuerin: B. Inan (LÜT)  
Space-Division Multiplexing in Optical Communication
- 07.02.2014 **Rodriguez Cervantes Octavio** – Betreuer: Y. Chen (LÜT)  
The Impact of Mode Coupling on the System Performance for  
a Spatially Multiplexed System
- 07.02.2014 **Iwanow Marcin** – Betreuer: Dr. Barletta (LNT)  
The Constrained Capacity of Block Differential Modulation  
and Detection

# 4

## Diplomarbeiten

### Master's Theses Bachelor Theses

In the period 2012–2014 the professors and assistants of the *Institute for Communications Engineering* (LNT) and the *Wireline Transmission Technology* (LÜT) group supervised a number of theses and projects:

- Master's Theses: 27
- Diploma Theses: 1
- “Forschungspraxis”: 8
- MSCE Internship: 3
- Bachelor Theses: 24
- “Ingenieurspraxis”: 26.

Im Berichtszeitraum vom 01.10.2012 bis zum 30.09.2014 wurden an unserem Lehrstuhl 27 *Master's Theses* (LNT: 17, LÜT: 10) durchgeführt. Diese sind im Kapitel 4.2 aufgeführt. Die meisten dieser Abschlussarbeiten, nämlich 17, wurden im regulären Masterstudiengang unserer Fakultät (EI-MSc) angefertigt. Die Master's Thesis wird mit 30 Credits gewertet, was einer Vollzeittätigkeit von 24 Wochen entspricht, und trägt somit zur Gesamtnote zu einem Viertel bei. Die Zeit zwischen Anmeldung und Abgabe darf 52 Wochen nicht überschreiten. Im Normalfall sollte die Arbeit allerdings innerhalb von sechs Monaten abgeschlossen werden.

In der Liste von Kapitel 4.2 sind auch die zehn Master's Theses innerhalb des englischsprachigen Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* aufgeführt (am Zusatz MSCE zu erkennen). Es gelten vergleichbare Bedingungen wie im Studiengang EI-MSc, doch ist hier

die Bearbeitungszeit streng auf sechs Monate limitiert.

Das Kapitel 4.2 beinhaltet auch die letzte von uns betreute Diplomarbeit (DA). Im April 2013 endete damit auch für den LNT nach 113 Jahren und geschätzt 2000 Diplomanden die Diplom-Ingenieurs- Ära. Für die Zeit nach dem 01.11.1962 können wir (relativ) gesicherte Angaben machen. Seitdem haben 1316 Studierende mit einer DA am LNT unter Leitung der Professoren Marko, Hagenauer, Kötter, Hanik und Kramer ihr Studium der Elektrotechnik (und Informationstechnik) als „Dipl.-Ing.“ erfolgreich abgeschlossen.

Durch die *Forschungspraxis* (für EI-MSc) und das sog. *MSCE Internship* soll bereits während des Studiums ein Einblick in aktuelle Forschungsthemen ermöglicht werden. Beide Module umfassen eine Zeitspanne von insgesamt neun Wochen (Vollzeit) und werden mit 12 Credits bewertet. Von LNT und LÜT wurden neun bzw. zwei solcher Arbeiten betreut, darunter drei als MSCE Internship (siehe Kapitel 4.3).

Die 24 betreuten *Bachelor Theses* (LNT: 20, LÜT: 4) sind in Kapitel 4.4 zusammengestellt. In der letzten Studienreform wurde die Bachelorarbeit auf 12 Credits herabgewertet und soll in neun Wochen bearbeitbar sein. Vorher galten gleiche Voraussetzungen wie für eine Master's Thesis (6 Monate, 30 Credits). Die Liste in Kapitel 4.4 beinhaltet auch

#### 4.1 Einige allgemeine Bemerkungen

#### 4.2 Master's Theses (EI-MSc, MSCE)

#### 4.3 Forschungspraxis & MSCE Internships

#### 4.4 Bachelor Theses (EI-BSc, LB)

#### 4.5 Ingenieurspraxis

## LNT

sechs Bachelorkandidaten im Studiengang *Lehramt an Beruflichen Schulen* (LB). Daraus ist zu ersehen, dass inzwischen auch die *School of Education* die Bologna-Reform umgesetzt hat.

Das Kapitel 4.5 listet die 26 Studentinnen und Studenten auf, die ihre *Ingenieurspraxis* unter der Aufsicht von Prof. Gerhard Kramer (LNT, 16)

bzw. Prof. Norbert Hanik (LÜT, 12) abgeleistet haben. Die Ingenieurspraxis ist obligatorische für den Studiengang EI-BSc und ersetzt die frühere Industriepraxis. Sie wird meist durch eine Firma direkt betreut, dauert neun Wochen und zählt zum Studienplan mit 12 Credits. Sie wird nur mit Bestanden/Nicht bestanden bewertet.

### 4.2 Master's Theses (EI-MSc, MSCE)

12.10.2012 **Emiliya Delcheva** – Betreuer: S. Dierks, S. Maier (R&S)  
Analysis and Simulation of the Terrestrial Position Tracking Scheme  
OTDOA in LTE-Networks

12.10.2012 **Sergiy Melnyk** - Betreuer: T. Lutz, Dr. Hausl, M. Nowack (EPAK GmbH)  
System- und Schaltungsentwurf eines Mikrowellen-Empfängers hoher Stabilität, variabler Bandbreite und geeigneter Gruppenlaufzeit

12.10.2012 **Lorenz Rädler** – Betreuer: Dr. Hausl, Dr. Cirillo (R&S)  
Automatic Detection of Measurement Parameters for Multi-Carrier and Multi-Standard Base Stations

31.10.2012 **Ravi Mathukkarumukku Hrishikesh** - Betreuer: Dr. Rini  
Information-theoretical Security in Voting Systems (MSCE)

14.01.2013 **Sebastian Schießl** - Betreuer: M. Heindlmaier  
Multi-Edge Type LDPC Codes: Optimization and Application to Joint Source and Channel Coding

15.03.2013 **Juan Tarrega Alonso** - Betreuer: Dr. Hausl, O. İşcan  
Evaluation of Frame Synchronization Algorithms for Wireless Communications

30.04.2013 **Djibril Balde** - Betreuer: Prof. Söder  
Development and Implementation of a WBT Component based on Linear Block Codes

18.09.2013 **Andrei Bechet** - Betreuer: S. Dierks, Dr. Powell (R&S)  
Intelligent Log Analysis (MSCE)

08.10.2013 **Ajith Bhat Hiremane Laxminarayana** - Betreuer: R. Böhnke, Dr. Ohendorf (R&S)  
Analysis and Verification of User Equipment Assisted Precoding in LTE Advanced (MSCE)

08.10.2013 **Rumpa Sarkar** - Betreuer: S. Dierks, X. Liu (Intel)  
Optimizing the Power Consumption in Mobile Devices during Voice over LTE Scenario by Analysing the Transmission Protocol Schemes

14.10.2013 **Yunyan Chang** - Betreuer: O. İşcan, Dr. Zhou, Ö. Bulakci (beide Huawei)  
Signalizing Concepts for Next Generation Mobile Radio Networks beyond 2020 (MSCE)

14.10.2013 **Onur Günlü** - Betreuer: O. İşcan  
 Design and Analysis of DCT-based Ring Oscillator Physical Unclonable Functions (MSCE)

29.10.2013 **Yi Li** - Betreuer: S. Dierks, Dr. Pauli (Nomor)  
 Coordinated Scheduling for the Downlink of LTE (MSCE)

31.10.2013 **Rana Ali Amjad** - Betreuer: Dr. Böcherer  
 Algorithms for Simulation of Discrete Memoryless Sources (MSCE)

29.11.2013 **Saher Moustafa Salem** - Betreuer: M. Heindlmaier, Dr. Konovaltsev (DLR)  
 Antenna Array Calibration with Live GNSS Signals

12.03.2014 **Majdi Msalleem** - Betreuer: M. Stinner, Dr. Mück (Intel)  
 Link Selection Optimization in a Heterogeneous Radio Environment

23.04.2014 **Christopher Husmann** - Betreuer: O. İşcan, Dr. Chen (Fraunhofer-Gesellschaft)  
 Modulation Classification in Wireless OFDM Systems with MAP Estimator

05.09.2014 **Mahdy Shabeb** - Betreuer: M. Heindlmaier, Dr. Fertl, R. Zhe (beide BMW Forschung & Technik)  
 Optimization and Algorithm Design in 5G Nomadic Relay Networks (MSCE)

24.10.2012 **Manpreet Singh Malhi** - Betreuer: Prof. Hanik, F. Moll (DLR)  
 Advanced Analysis of Laser Signal Measurements from Optical Satellite Downlinks (MSCE)

LÜT

22.11.2012 **Zhanchao Xu** - Betreuer: Y. Chen  
 Investigation of Nonlinearity Mitigation Technique for Optical OFDM Systems

15.04.2013 **Mohamed Mahdi Mezghanni** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Napoli, Dr. Kuschnerov (beide NSN)  
 Pre-distortion of Non-ideal Hardware Modules for High-speed Optical Communication Systems

20.09.2013 **Jian Chen** (CDHK-Doppeldiplom) - Betreuer: Y. Chen  
 System Impairments Compensation for Uplink Passive Optical Network using Coherent Optical-OFDM

10.10.2013 **Aleksandra Chaloska** - Betreuer: T. Fehnberger, Dr. Schairer (NSN)  
 BER-aided Channel Preemphasis in Optical Communication Systems - Meshed Network Simulation and Algorithm Optimization

10.10.2013 **Vishwarath Tomar** - Betreuer: T. Fehnberger, Dr. Schairer (NSN)  
 BER-aided Channel Preemphasis in Optical Communication Systems

29.11.2013 **Johannes Rabe** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Kuschnerov (NSN)  
 Complexity Reduction of Maximum-Likelihood Detection for Long-haul Transmission over Few-mode Fiber

11.12.2013 **Ginni Khanna** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Spinnler (NSN)  
 Characterization of Driver Amplifiers and Mach-Zehnder Modulators in Optical Communication Systems (MSCE)

31.03.2014 **Felix Kristl** - Betreuer: T. Fehenberger  
Evaluating the Maximum Constrained Capacity of Deployed Optical Fiber Systems

05.09.14 **Jiajing Niu** (CDHK-Doppeldiplom) - Betreuer: T. Fehenberger  
Optimization of Dispersion Maps for Coherent Optical Communication Systems

### 4.3 Forschungspraxis & MSCE Internships

#### LNT

01.10.2012 **Rana Ali Amjad** - Betreuer: Dr. Böcherer  
Fixed-to-Variable-Length Distribution Matching (MSCE)

02.10.2012 **Elena Grigoreva** - Betreuer: Dr. Böcherer  
BICM Capacity Investigation (MSCE)

14.01.2013 **Felix Kristl** - Betreuer: Dr. Hausl  
EXIT-Charts for Iterative DQPSK-Demodulation and Decoding

29.05.2013 **Christopher Husmann** - Betreuer: O. İşcan  
Implementation of Relaying Techniques with Software-defined Radio

26.06.2013 **Patrick Schulte** - Betreuer: Dr. Böcherer  
Maximum Length Penalty Huffman Coding

14.01.2013 **Karl-Tasnad Kernetzky** - Betreuer: S. Dierks  
Algorithms with Limited Cooperation for Interference Limited Transmission

30.12.2013 **Farid Kamkar** - Betreuer: M. Stinner  
Software Implementation of a Digital Baseband Transmission (MSCE)

31.01.2014 **Markus Jäger** - Betreuer: M. Heindlmaier  
Noisy Network Coding for the Two-Way Relay Channel

24.03.2014 **Felix Rutz** - Betreuer: H. Bartz, Dr. Müller (MDBA Deutschland)  
Inkohärenter Rake-Empfänger für Fast-Fading-Kanäle

#### LÜT

08.04.2013 **Johannes Rabe** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Kuschnerov (NSN)  
Mode Scrambling and Equalization in Few-Mode Fiber Transmisson

18.12.2013 **Tasnad Kernetzky** - Betreuer: T. Fehenberger  
Implementing Polar Codes for Optical Communications

### 4.4 Bachelor Theses (EI-BSc, LB)

#### LNT

12.11.2012 **Andreas Ditler** - Betreuer: M. Heindlmaier  
On Input Distributions for Memoryless Relaying

14.01.2013 **Klaus Madl** - Betreuer: Dr. Hausl  
Demonstration of a Wireless Audio-Transmission with Amplitude and Frequency Modulation (LB)

04.04.2013 **Johannes Krönung** - Betreuer: Prof. Söder  
Didactical and Professional Reworking of Communication Lab Experiments (LB)

29.05.2013 **Michael Hoppe** - Betreuer: H. Bartz  
Performance Analysis of Erasure Codes for Distributed Storage Networks

26.06.2013 **Sebastian Baur** - Betreuer: Dr. Böcherer  
ICT Cubes Decode Webservice: From Slat Sequences to Plaintext

02.07.2013 **Dominik Kopp** - Betreuer: Prof. Söder  
Educational Films for Subject „Galois Field“ for Tutorial LNTwww (LB)

30.07.2013 **Maged Mohamed W. Mahfouz Ahmed** - Betreuer: O. İşcan  
Channel Measurements with Software Defined Radio

19.08.2013 **Martin Dirix** - Betreuer: Dr. Böcherer  
Basics of 2D Codes and their Reading and Generation using ZXing

05.09.2013 **Andreas Reil** - Betreuer: O. İşcan, B. Schulz (R&S)  
Design of a GNSS Software Receiver using MATLAB

12.09.2013 **Alexandra von Lösecke** - Betreuer: S. Dierks  
Minimizing Interference for a Three-user Interference Channel using  
Interference Alignment

18.09.2013 **Stephanie Weigl** - Betreuer: M. Thakur  
Optimization for Relay Positioning

14.10.2013 **Karl Budweiser** - Betreuer: T. Lutz, M. Kicherer (BMW)  
Influence of Electromagnetic Fields on the Bit Error Rate of a Ethernet  
Channel used in Cars

29.10.2013 **Tobias Schneider** - Betreuer: H. Bartz  
Implementation of Coding Strategies for Distributed Storage Networks  
Incorporating Network Topologies

22.01.2014 **Clemens Blöchl** - Betreuer: M. Heindlmaier  
The Two-user Broadcast Erasure Channel with Feedback and Memory

31.01.2014 **Matthias Riedel** - Betreuer: Prof. Söder  
Comparison of Different Audio Software regarding the Suitability for the  
Creation of the Training Video (LB)

24.03.2014 **Martin Schmidhammer** - Betreuer: M. Heindlmaier  
Optimality Aspects of Memoryless Relaying Functions for Two-Way  
Relaying

12.08.2014 **Edvarts Berzs** - Betreuer: S. Dierks  
Sum-Rate Maximization with Leakage-based Coordinated Scheduling  
Strategies

12.08.2014 **Alexander Domanski** - Betreuer: M. Stinner  
Digital Baseband Transmission in SimuLink

12.08.2014 **Niklas Jünger** - Betreuer: S. Dierks  
User Selection and Scheduling in the Massive MIMO Broadcast Channel

12.08.2014 **Stephanie Rupp** - Betreuer: M. Stinner, H. Bartz  
Error Correction for Bluetooth Low Energy



## LÜT

14.02.2013 **Janis Surof** - Betreuer: B. Inan, Dr. Lehmann (NSN)  
Generation of Higher Order Modulation Formats using DACs-while  
Compensating Components Distortion by Pre-compensation of the Electric  
Drive Signal

28.03.2013 **Andreas Greiner** - Betreuer: Prof. Hanik  
Visualization of Linear Transfer Functions using MatLab (LB)

31.03.2013 **Markus Trippner** - Betreuer: E. Georg, J. Sommer (ESG)  
Partly Automated Creation of State Machines for Testing a Specification-  
based Transmission of Bus Messages over In-vehicle Bus Systems

10.07.2013 **Sigmar Seeger** - Betreuer: N. Hanik  
Microcontroller-based Ventilator-control with Pulsewidth-Modulation using  
Flowcode-Programming (LB)

## 4.5 Ingenieurspraxis

### Prof. Kramer

31.10.2012 **Max Durner** - Firma: Elektroniksystem- und Logistik GmbH  
(ESG), Fürstenfeldbruck  
Grundlagen eines Antriebssteuergerätes und deren Sensoren/Aktuatoren per  
Simulation anhand der 'Hardware-in-the-Loop'-Technik

31.10.2012 **Moritz Kremb** - Firma: Siemens AG, München  
Intelligent Traffic Systems

31.10.2012 **Tobias Schneider** - Firma: SRI Radio Systems GmbH, Durach  
Automatisierung eines HF-Test Messplatzes zur funktionalen Überprüfung  
von TX und RX Sende- und Empfangseinheiten

31.10.2012 **Florian Wirnshofer** - Firma: Rohde & Schwarz, München  
Messautomatisierung, Fehlerdetektion, Fehleranalyse (ITS)

06.11.2012 **Michael Hoppe** - Betreuer: S. Dierks, H. Bartz  
Development of Typo3 Extensions

18.12.2012 **Stephan Dollberg** - Firma: Elektroniksystem- und Logistik  
GmbH (ESG), Fürstenfeldbruck  
Integrierte modulare Avionik

14.01.2013 **Tobias Buchberger** - Firma: Steca Elektronik, Memmingen  
Anbindung der neuen solarthermischen Reglergeneration über ein IP-  
Busprotokoll an ein Hausbussystem

29.05.2013 **Michael Seibold** - Firma: ESG, Elektroniksystem- und Logistik  
GmbH, Fürstenfeldbruck  
Testautomatisierung für Getriebesteuerungselektronik

29.05.2013 **Patrick Aigner** - Firma: IAV GmbH, München  
Unterstützung im Bereich E/E-Systemintergration mit Schwerpunkt auf der  
Absicherung einer Gatewayfunktionalität der Motorsteuerung

05.08.2013 **Karl Budweiser** - Firma: BMW AG, Dingolfing  
Domainumstellung der LAN-Switches

07.08.2013 **Sebastian Schaal** - Firma: Intel, München  
3G / LTE Performance Testing, Simulation and Analysis

29.10.2013 **Julia Fumbarev** - Betreuer: H. Bartz, D. Ishchenko  
 Compressive Sensing - Hardware Implementation of Orthogonal Matching Pursuit (OMP)

27.11.2013 **Michael Schneider** - Betreuer: M. Stinner, S. Dierks  
 Einarbeitung in Skript-Programmiersprachen

27.11.2013 **Thomas Büchner** - Firma: BMW AG, München  
 Erstellen eines Prozessabsicherungs-Planes für den Hochvolt-Speicher des Plug-in-Hybrid (PHEV)

11.06.2014 **Tamara Fiedler** - Firma: Webasto Thermo & Comfort SE, Stockdorf  
 Integration einer Toolerweiterung zur Überprüfung von Designrichtlinien in die bestehende MATLAB/Simulink-Umgebung

09.07.2014 **Edvarts Berzs** - Betreuer: S. Dierks  
 Programmier- und Dokumentationsarbeiten in Matlab und Typo3

11.12.2012 **John-Certus Lack** - Betreuer: Televic Healthcare, Izegem, Belgien  
 Development at the InterAxie System Tester

**Prof. Hanik**

20.12.2012 **Andreas Brenner** - Firma: AGCO GmbH, Marktoberdorf  
 Aufbau und Programmierung eines Diagnose-Versuchsaufbaus

14.01.2013 **Dominik E. A. Bok** - Firma: Rohde & Schwarz, München  
 Mitarbeit bei der Testautomatisierung und beim Wellenformtest

06.05.2013 **Ludwig Heinle** - Firma: Ascending Technologies, Krailling  
 Entwicklung eines Brushless-Motorcontrollers

12.06.2013 **Stefan Löb** - Firma: MBDA Deutschland, Schröbenhausen  
 Parallel-Processing für die Berechnung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Flugobjekten im 3-D-Raum

22.10.2013 **Alexander Domanski** - Firma: BMW AG, München  
 Prozessanalyse & Optimierung: Fertigung von Hochvolt-Prototypen-Kabelbäumen

05.11.2013 **Julian Beilhack** - Firma: AUDI AG, Ingolstadt  
 AUDI Prüf- und Inbetriebnahmesoftware: Automation

06.11.2013 **Dominik Eberl** - Firma: BMW AG, TP-240, München  
 Standards Anlagentechnik Karosseriebau

20.11.2013 **Michael Hauff** - Firma: KETEK GmbH, München  
 Automatisierung der Datenblatt-Generierung für Silizium-Drift-Detektoren

22.01.2014 **Paul Subkowski** - Firma: WSCAD electronic, Bergkirchen  
 Restrukturierung des internen Wiki-Bereichs im MS-Sharepoint

23.01.2014 **Jannik Lüst** - Firma: ADVA-Optical Networking SE, Martinsried  
 Untersuchung eines PON-Remodulationsverfahrens

15.04.2014 **Sebastian Schlecht** - Firma: Infineon Technologies, München  
 Requirements Engineering bei der Entwicklung von Mikrocontroller-Bausteinen für Anwendungen in der Automobilelektronik



# 5

## Promotionen

## Habilitationen

During the term of this report, several members of LNT and LÜT completed their Dr. Ing. dissertations. Prof. Kramer was the doctoral advisor of M. Thakur, J. Hou, T. Lutz and H. Ghozlan (who received his Ph.D. degree from USC). Four doctoral candidates from LÜT – M. Roppelt, O. Gaete, B. Inan and S. Hellerbrand – were supervised by Prof. Hanik. In the following you can find the abstracts of the dissertations.

The current count of all completed Dr.Ing. dissertations at LNT, LÜT, and their predecessor institutes going back to 1906, is 214.

Finally, Prof. Kramer and Prof. Hanik thank their colleagues Polina Bayyel, Young-Han Kim, Frank Kschischang, Muriel Médard, Huug de Waardt und Stephan Pachnicke for serving as co-examiners. The reputation of these outstanding scientists puts a stamp of quality on the dissertations.

Im Juli dieses Jahres erschien in einer Münchner Tageszeitung der Artikel „Wieder mehr Promotionen in Bayern“. Aus Sicht von LNT und LÜT können wir diesen Trend bestätigen: In den beiden letzten Jahren hat sich die Anzahl der vom LNT und seinen Vorgängerinstitutionen insgesamt betreuten Dissertationen (seit 2006) von 206 auf 214 erhöht.

Professor Gerhard Kramer war in den beiden letzten Jahren Doktorvater bei folgenden Promotionen:

- Dr. Mohit Thakur (LNT, S. 37),
- Dr. Jie Hou (LNT, S. 40),
- Dr. Tobias Lutz (LNT, S. 41),
- Dr. Hassan Ghozlan (S. 42).

Die Seitenzahlen beziehen sich auf die Kurzbeschreibungen der Dissertationen in diesem Heft. Ab S. 45 folgen noch Curricula Vitae unserer Doktoranden.

Hassan Ghozlan promovierte an seiner Heimatuniversität, der *University of Southern California* (USC). Gerhard Kramer, bis 2010 Professor an der USC, war von Beginn an der fachliche Betreuer dieser Ph. D., insbesondere auch während Hassan's Forschungsaufenthalt am LNT in den Jahren 2012/2013.

Professor Norbert Hanik war seit Oktober 2012 ebenfalls viermal Erstgutachter eines Promotionsverfahrens unserer Fakultät:

- Dr. Markus Roppelt (S. 36),
- Dr. Oscar Gaete (S. 38),
- Dr. Beril Inan (LÜT, S. 39),
- Dr. Stephan Hellerbrand (S. 43).

Auch Oscar und Stephan waren LÜT-Mitarbeiter, zum Zeitpunkt ihrer Promotion aber bereits ausgeschieden. Die Prüfung von Dr. Hellerbrand war erst im November. Da die Annahme durch die Fakultät aber schon im April erfolgte, ist auch er hier aufgeführt.

Auf S. 44 finden Sie die Arbeit von Dr. Ronald Böhnke (LNT-Mitarbeiter 2012 – 2014), mit der er an der Universität Bremen bei Prof. Kammeyer promovierte. Zweitgutachter des Verfahrens war Prof. Kramer.

- 5.1 Abgeschlossene Promotionsverfahren
  - Dissertation Roppelt
  - Dissertation Thakur
  - Dissertation Gaete
  - Dissertation Inan
  - Dissertation Hou
  - Dissertation Lutz
  - Dissertation Ghozlan
  - Dissertation Hellerbrand
  - Dissertation Böhnke

### 5.2 Curricula Vitae unserer Doktoranden

### 5.3 Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung

### 5.4 Habilitationsverfahren mit LNT-Beteiligung

### 5.5 Vorträge im Doktorandenseminar

**Dr.-Ing. Markus Roppelt**

## **Control, Monitoring and Management of a WDM-PON using Pilot Tones**

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Erwin Biebl

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Priv.-Doz. Dr.-Ing. Stephan Pachnicke (TU Dortmund)

Tag der mündlichen Prüfung: 14.02.2014

Die Bandbreite der Teilnehmeranschlüsse ist in den letzten 30 Jahren exponentiell gestiegen. Auch heute wird keine Änderung dieser Wachstumsrate gesehen, da neue Dienste, wie beispielsweise hochauflösendes Videostreaming, leicht Bandbreiten von mehr als 100 Mbit/s füllen werden. Kupfernetzwerke mit Technologien wie xDSL werden diese hohen Bandbreiten nicht zur Verfügung stellen können.

Eine Technologie, die den künftigen Bedarf im Zugangsnetz stillen kann, ist ein passives optisches Netzwerk (PON). Neben den bereits installierten Zeitmultiplex-Netzwerken (TDMA-PON) sind insbesondere Systeme mit Wellenlängenmultiplex (WDM-PON) aussichtsreiche Anwärter. Durch die große Anzahl der zu installierenden Endkundenanschlüsse ergibt sich allerdings für alle Lösungen ein enormer Kostendruck. In der Dissertation wird im Detail dargestellt, wie ein WDM-PON mit Hilfe von Pilottönen kostengünstig realisiert werden kann.

Zuerst wird eine neue Methode zur Pilottongenerierung beschrieben, die auf einer modifizierten 8B/10B-Codierung basiert. Dieses Verfahren wurde auf einem *Field Programmable Gate Array* (FPGA) implementiert und experimentell mit bereits existierenden Pilottonverfahren verglichen.

Anschließend wird in der Arbeit gezeigt, dass mit Hilfe von Pilottönen eine zentrale Wellenlängenkontrolle aufgebaut werden kann, in der jeder optische Endteilnehmer (ONU) eigenständig seinen Zielkanal findet. Dank der zentralen Wellenlängenkontrolle ist es auch möglich, bei allen ONUs auf die lokale Wellenlängenreferenz zu verzichten und so die Gesamtkosten deutlich zu reduzieren.

Weitere Kosteneinsparungen bei der ONU können durch Weglassen von Peltier-Kühler (TEC) sowie durch die Reduzierung des Kalibrierungsaufwandes des abstimmbareren Lasers erzielt werden. Um die daraus resultierenden Änderungen der Lasersfrequenz zu kompensieren, können generische Lasergleichungen und/oder Interpolation der Kalibrierungsdaten benutzt werden.

Die Arbeit erklärt, wie man die beiden Konzepte bei zwei verschiedenen Lasertypen anwenden kann. Die beiden Konzepte können komplementär zu der bereits erwähnten zentralen Wellenlängenkontrolle eingesetzt werden und wurden deshalb auch experimentell zusammen mit dieser demonstriert.

Abschließend wird eine Methode mit einer zweiten Wellenlängenreferenz beschrieben, die für eine beliebige Zielfrequenz einen großen Fangbereich ermöglicht. Diese rasterfreie Wellenlängenkontrollmethode kann auch in anderen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, wie zum Beispiel bei so genannten Flexgrid-Netzen mit sehr kleinem Kanalabstand.

Die Dissertation wurde online veröffentlicht. Siehe <http://mediatum.ub.tum.de/node?id=1175879>.

In residential access, bandwidth has been increasing exponentially for the past 30 years. No change of this growth in demand can be seen even today, as services like high-definition video streaming can easily require bandwidths in excess of 100 Mbit/s. Copper-based networks, with technologies like xDSL, cannot satisfy this bandwidth requirement. A technology which can meet the requirement is a passive optical network (PON). In addition to already

deployed time division multiple access (TDMA)-PON, a promising candidate is wavelength division multiplexing (WDM)-PON.

The thesis discusses using pilot tones to enable the development of a low-cost WDM-PON. First, a new pilot tone generation method based on a modified 8B/10B encoder is introduced. The new scheme is experimentally demonstrated using a field programmable gate array (FPGA), and its performance is compared to existing methods.

Next, a centralized network wavelength control using individual pilot tones is presented which allows an optical network unit (ONU) to tune itself to its target channel. The centralized network wavelength control allows to remove the wavelength reference (etalon) from all ONUs and thus to reduce the overall costs.

Further, cost savings on the ONU side can be obtained by omitting the thermoelectric cooler (TEC) and reducing the calibration effort. Instead, generic equations and/or interpolation of the calibration data can be used. This work explains how the two concepts can be applied to two different laser types. Both concepts can also be used with the centralized network wavelength control and are jointly demonstrated experimentally.

Finally, a new method incorporating a second wavelength reference (etalon) is introduced. The new method provides a large lock-in range for arbitrary target channel frequencies. This grid-less wavelength locking is not limited to access networks and can be used in several applications, e.g. flexgrid with a very small channel spacing.

This thesis was published online at <http://mediatum.ub.tum.de/node?id=1175879>.

## Relay Positioning for Multicast Relay Networks

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. Holger Boche

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

2. Berichter: Prof. Muriel Médard (Massachusetts Institute of Technology)



Tag der mündlichen Prüfung: 14.03.2014

Ein fundamentales Ziel bei der Planung drahtloser Kommunikationsnetze ist die Bereitstellung möglichst großer Übertragungsraten bei gleichzeitig möglichst geringem Energieverbrauch. Heutzutage verwendet man meist *Relay Networks*, bestehend aus Quelle, Relais und Senke, die eine zuverlässige Kommunikation über weite Entfernung ermöglichen. *Multihop-Netze* liefern einen Einblick in die theoretische Struktur einer effizienten Kommunikation und sind aufgrund ihres einfachen Designs und der niedrigen Kosten auch von praktischer Bedeutung.

Die Dissertation behandelt für ein zelluläres Netz, bei dem eine Basisstation mehrere Teilnehmer einer Zelle versorgt, das Problem der bestmöglichen Relaispositionierung, um die Übertragungsraten bei einem zeitdiskreten Gaußschen Multicast-Relaiskanal zu maximieren. Vorausgesetzt wird hierfür stets ein Pfadverlustmodell mit Sichtverbindung.

Für die Kapazität dieses Gaußschen Relaiskanals wird eine Schnittmenge oberer Schranken angegeben, dazu noch zwei untere Schranken, die auf dem Prinzip *Decode-and-forward* bzw. *Quantize-and-forward* basieren. Zudem werden zwei Strategien zur Ratenmaximierung vorgestellt, die bei niedrigem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) anwendbar sind, nämlich

- *Decode-and-forward*, basierend auf Routing,
- *Decode-and-forward*, basierend auf Netzcodierung.

Für die erstgenannte Strategie wird in der Arbeit eine hypergraphische Interpretation gegeben. Es wird gezeigt, dass sich in diesem Fall das Relaispositionierungsproblem auf die Lösung von mehreren konvexen

Optimierungsaufgaben zurückführen lässt.

Bei der zweiten, auf Netzcodierung basierenden Strategie ist dagegen die Relaispositionierung ein quasi-konkaves Optimierungsproblem. Damit erreicht man höhere Raten als mit der auf Routing basierenden Strategie. Darauf hinaus wird in der Dissertation gezeigt, dass für alle SNR-Regionen mit Netzcodierung die gesamte Schar oberer Schranken ebenso wie die unteren Schranken, die sich entsprechend *Decode-and-forward* bzw. *Quantize-and-forward* herleiten lassen, bezüglich Sendeleistung und Relaisleistung quasi-konkav sind und dies auch bezüglich der Relaisposition. Damit wird hier das Problem der Relaispositionierung zu einem konkaven Optimierungsproblem, das sehr effizient gelöst werden kann.

A fundamental goal in wireless networks is that of efficient operation, particularly in the sense of maximizing reliable communication rates with minimum energy consumption. Today, many wireless networks are multi-hop networks, facilitating communication over long distances with reliability and robustness. Relay networks, typically consisting of a source, a relay and a destination, are basic examples of multi-hop networks. They are not only of theoretical interest to gain insight into efficient communication, but also of practical interest due to their simple design, tractable maintenance and low-cost.

To achieve efficient operation of a relay network, an important design parameter is the relay position. Imagine a cellular network where a base station serves  $N$  users in a cell. Due to an increase in user demand, a re-

lay (or a small base station) needs to be deployed in the cell. A natural question is how should the relay be positioned to cater to the increased demands. In practice, the relay positioning problem arises in the design of femtocells that have small low power base stations that divide a regular mobile cell into smaller cells.

In this thesis the problem of relay positioning to maximize the multicast rate is addressed for a discrete-time Gaussian multicast relay channel with a line-of-sight path-loss model. Cut-set upper bounds, decode-and-forward lower bounds and quantize-and-forward lower bounds on the capacity of the Gaussian multicast relay channel are derived. For the low signal-to-noise ratio regime two strategies are presented, namely a routing based decode-and-forward strategy and a network coding based decode-and-forward strategy. A hypergraph interpretation is given for the routing based strategy and it is shown that the relay positioning problem can be solved by solving a series of convex optimization problems. For the network coding strategy the relay positioning problem is shown to be a quasi-concave optimization problem. Furthermore, the network coding based strategy achieves higher rates than the routing based strategy. Lastly, it is shown that for all signal-to-noise ratio regimes the cut-set upper bounds, decode-and-forward lower bounds and quantize-and-forward lower bounds are quasi-concave in the source power, the relay power and the relay position, and thus can be computed efficiently by solving quasi-concave optimization problems.

This thesis was published in March 2014 by Dr. Hut Verlag in the series "Informationstechnik".

Dr.-Ing. Oscar Gaete

**Optimization of Wavelength Division Multiplexed Optical Communication Systems at 100 Gbit/s using Multilevel Phase Modulation and Direct Detection**

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Alexander W. Koch

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Assoc. Prof. Dr.ir. H. de Waardt (TU Eindhoven)

Tag der mündlichen Prüfung: 10.04.2014

Die Arbeit untersucht die Leistungsfähigkeitsgrenzen von phasenmodulierten und direkt empfangenen optischen WDM-Systemen bei 50 Gbit/s bzw. 100 Gbit/s mit 50 GHz Kanalabstand. Insbesondere sind wir daran interessiert, die Parameter der optischen Strecke zu bestimmen, die die Leistungsfähigkeit eines bestimmten Sendeformats maximieren. Damit sind wir in der Lage, verschiedene Modulationsverfahren und Übertragungskonfigurationen an ihrem optimalen Arbeitspunkt zu analysieren und somit einen fairen Vergleich durchführen zu können, was im letzten Teil der Dissertation für viele Konfigurationen dokumentiert ist.

The “mobile revolution” experienced in past couple of years, characterized by ubiquitous broadband connectivity and driven by wireless technologies such as Wi-Fi, UMTS/HSPA and LTE, has brought a significant increase in the capacity requirements for existing and future optical networks. It has been envisioned for such advanced networks to operate at 100 Gbit/s bit rate per wavelength channel. At such high data rates, the bandwidth of binary-modulated signals is so broad that strong performance penalties due to Wavelength Division Multiplex (WDM) cross-talk and optical filtering are unavoidable. For this reason, multilevel modulation formats must be employed in such transmission scenarios.

Mainly due to their straightforward implementation, low power consumption, and thus reduced costs, direct detection systems at 100 Gbit/s remain an attractive solution in scenarios where capacity is required but transmission distances are moder-

ate – like for example regional and metropolitan networks, which are typically composed of 300 km up to 1000 km long point-to-point links.

This thesis investigates the performance limits of such communication systems, where phase modulation and direct detection are used in combination with WDM transmission at 50 Gbit/s and 100 Gbit/s with 50 GHz channel spacing. In particular, we are interested in identifying the parameters of the optical link that optimize the performance of a certain transmission format. In this way, we are able to analyse different modulation schemes and transmission configurations at their optimum operating points and provide a fair comparison between them.

The first part of the thesis introduces the theoretical foundations of the models used to assess the performance of a communication link. The most important linear and nonlinear effects to which the optical signals are exposed during propagation are discussed and the criteria for the optimum design of the transmission link are reviewed. Next, a mathematical optimization algorithm is proposed and used extensively for finding the optimum operation parameters of the transmission formats investigated in this thesis.

In the second part, we begin by investigating the performance limits of direct detected WDM transmission systems using differential quadrature phase keying (DQPSK) at 50 Gbit/s. Different “flavours” of DQPSK are compared, such as return and non-return-to-zero pulse shapes, dual-carrier implementation (where two optical signals are modulated at half the data rate and detected independently of each other) and stereo multiplexing (where two modulated optical

carriers are linearly combined and received simultaneously). The propagation of WDM signals after 1040 km with optimum dispersion maps is thoroughly analysed and subsequently maximum transmission distances are estimated. The optimum link parameters are identified and the robustness of each transmission format with respect to variations in the dispersion map is assessed. Additionally, a mathematical framework is introduced that helps to analyse direct detected frequency division multiplexed signals. It is used to generalize stereo multiplexing to a higher number of sub-carriers.

Next, we introduce optical DQPSK transmission using Nyquist pulses as a way of minimizing the spectral occupancy of the signals. By means of spectral shaping we attempt to increase the tolerance of the Nyquist signals to transmission impairments. The performance of Nyquist pulses is compared to the more classic return-to-zero and non-return-to-zero pulses.

Finally, this thesis investigates the transmission of 100 Gbit/s signals encoding three bits per transmitted symbol. Because of the broad spectrum of the signals and small channel separation, transmission suffers from strong performance penalties due to WDM cross-talk and narrow-band filtering. We justify using ASK-DQPSK as the modulation format for such a scenario and then the performance of the transmission format is assessed emphasizing the difference between ASK-DQPSK and conventional systems using return-to-zero or non-return-to-zero and Nyquist pulses.

This thesis will be published in 2014 by Dr. Hut Verlag in the series “Informationstechnik”.

## Applications of Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Long-Haul Optical Transmission Systems

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kellerer

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Prof. ir. Huug de Waart (TU Eindhoven)



Tag der mündlichen Prüfung: 19.05.2014

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf unterschiedlichen Anwendungen des OFDM-Verfahrens im Bereich der optischen Übertragungstechnik. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) ist ein geeignetes Modulationsverfahren für die hochrätige Übertragung über Glasfaser, da es sich bestens für Transponder-Technologien mit flexiblen Raten eignet. Auch durch sein genau definierter Spektrum ist OFDM ideal als passives Multiplexverfahren.

In der Dissertation werden verschiedene Aspekte des OFDM-Verfahrens für die optische Übertragung analysiert. Zunächst wird ein optischer Echtzeit-Sender für 93.8 Gbit/s vorgestellt, der mit einer 1024-Punkt IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) sowie Polarisationsmultiplex und 4-QAM realisiert wurde. Obwohl hier aufgrund der großen IFFT-Länge 80% der FPGA-Ressourcen genutzt werden müssen, wird eine stabile Sendeleistung erreicht.

Danach wird ein neues Verfahren zur Entzerrung nichtlinearer Effekte vorgeschlagen. Ein Vorteil der auf RF-Pilottonen basierenden Methode ist, dass damit sowohl durch Selbst- als auch durch Kreuzphasenmodulation induzierte Beeinträchtigungen kompensiert werden, ohne dass eine Kenntnis der gleichzeitig übertragenen Kanäle nötig ist. Im Unterschied zu herkömmlichen, nichtlinearen Entzerrungsverfahren erhöht diese Methode nicht die Komplexität.

Im letzten Teil der Dissertation werden OFDM-Anwendungen über Few-Mode-Fasern (FMF) analysiert, deren Leistungsfähigkeit die Kapazitäten der Single-Mode-Faser (SMF) übersteigen und ein vielversprechender Kandidat für die Zukunft sind.

Analytische Untersuchungen in dieser Arbeit haben gezeigt, dass bei

Few-Mode-Fasern OFDM-Signale die geringste Komplexität zur Entzerrung erfordern. Zum Abschluss werden experimentelle Ergebnisse zur OFDM-Übertragung über stark gekoppelte Few-Mode-Fasern vorgestellt. Hier wurde die Übertragung von 337.5 Gbit/s über 130 km stark gekoppelte FMF mit *Inline Multi-Mode-Verstärkern* erreicht.

Die Dissertation wird im Verlag Dr. Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erscheinen.

This work focuses on various applications of OFDM in the optical communication area. OFDM attracted attention as a modulation candidate for high capacity fiber-optic transmission systems as it is ideally suited for flexi-rate transponder technology. Due to its well-defined spectral shape it is ideal for passive colorless multiplexing. In this thesis various aspects of OFDM for fiber optic transmission systems are analyzed.

The first project discussed in this thesis is a 93.8 Gbit/s real-time optical OFDM transmitter. The low bandwidth and the reduced effective number of bits of the digital-to-analogue (D/A) converter were found to be the bottleneck of the realized transmitter.

In modern digital communication systems, quantization plays a pivotal role for two main reasons: First, the signals to be communicated are often analog and need to be digitized for easy storage and error-correction coding. Second, the received waveform as a continuous-time and analog signal is sampled and quantized for further digital processing.

Around 80% of the resources of the FPGA are used due to the large IFFT (e.g. 1024 points) but still a stable transmitter performance was

achieved. The limited resources of FPGAs make it challenging to place and route such a large IFFT. Next, a novel method is proposed for mitigating nonlinear effects. The main advantage of the proposed RF-pilot tone based method is that both SPM and XPM-induced impairments are compensated without knowing the data from co-propagating channels. Unlike common nonlinearity mitigation methods, this approach does not add complexity.

Finally, applications of OFDM with few mode fibers are considered. The single mode fiber (SMF) is the standard for optical transmission, but the explosively increasing capacity demand is making researchers look into technologies to scale beyond the capacity limits of SMF.

Few mode fibers (FMF) are a promising candidate for the future. However, there are several fiber effects that severely degrade the joint propagation of several modes along a FMF. Most severe is the linear coupling of the modes which can be strong or weak, depending on the design of the fiber. Another important effect is Differential Mode Delay (DMD), i.e. the difference of group velocities of the co-propagating modes. Mode coupling needs to be inverted using a matrix equalizer at the receiver side.

Here, OFDM proves to have the least complexity among some of the well-known equalizers. Experimental results of OFDM transmission over strongly coupled FMF are demonstrated. 337.5 Gbit/s is achieved over 130 km strongly coupled FMF with inline multi-mode amplifiers.

This thesis will be published in 2014 by the Verlag Dr. Hut in the series “Informationstechnik”.

Dr.-Ing. Jie Hou

**Coding for Relay Networks and Effective Secrecy for Wire-tap Channels**

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. Holger Boche

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

2. Berichter: Prof. Young-Han Kim (Univ. of California, San Diego)

Tag der mündlichen Prüfung: 14.08.2014

Die Arbeit untersucht zwei unterschiedliche Probleme der Netzwerk-Informationstheorie, nämlich die Codierung für Relaisnetzwerke sowie die präzise Approximation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, basierend auf der nicht-normalisierten Kullback-Leibler-Divergenz (KLD) und deren Anwendungen zur sicheren Kommunikation in Netzen.

Im Rahmen der ersten Problemstellung wird zuerst die Netzcodierung in rauschbehafteten Netzen mit kurzen Nachrichten (SNNC) untersucht. Die SNNC führt zur gleichen Rate, die sich auch durch eine Netzcodierung mit langen Nachrichten (LNNC) und gemeinsamer Decodierung ergibt, unabhängig davon, ob man für die SNNC-Variante eine Sliding-Window-Decodierung oder eine Rückwärtsdecodierung voraussetzt. Letztere ist einfacher zu analysieren.

SNNC ermöglicht auch die frühzeitige Decodierung am Relais bei guter Kanalqualität. Dies führt zu gemischten Strategien, welche die Vorteile von SNNC und die Vorteile von „Decode-Forward“ (DF) vereinigen. Zum Beispiel soll decodiert werden, wenn der Kanalzustand gut ist, um das Rauschen am Relais zu entfernen bzw. zu minimieren. Ansonsten soll das Empfangssignal weitergeleitet werden, um am Empfänger Diversität zu ermöglichen.

In der Dissertation wird ein iterativer Algorithmus präsentiert, der solche Nutzer findet, deren Nachrichten als Rauschen behandelt werden sollten. Damit werden die besten Raten gewährleistet. Anschließend wird der Vielfachzugriff-Relaiskanal (MARC) mit einer Rückkopplung vom Relais zur Quelle untersucht. Mit einer neuen DF-Codierung wird die Ratenregion hergeleitet, die die Kapazitätsregion des MARC ohne

Rückkopplung einschließt. Dies zeigt, dass durch Rückkopplungen die Kapazitätsregionen in Mehrnutzernetzwerken vergrößert werden können.

Im Rahmen der zweiten Problemstellung zeigen wir zunächst, dass die minimale Rate, um eine Verteilung präzise zu approximieren, durch eine Transinformation angegeben werden kann. Die erreichbare Genauigkeit wird dabei mit Hilfe der nicht-normalisierten KLD gemessen.

Anschließend wenden wir das Ergebnis auf die Kommunikationssicherheit in Netzen an und definieren ein neues effektives Sicherheitsmaß, das starke Sicherheit und Heimlichkeit beinhaltet. Dieses effektive Maß stellt sicher, dass der Lauscher nichts von der Nachricht mitbekommt und auch nicht in der Lage ist, die Präsenz einer bedeutsamen Kommunikation zu erkennen.

This thesis addresses two problems of network information theory: coding for relay networks and (accurate) approximations of distributions based on un-normalized informational divergence with applications to network security.

For the former problem, we first consider Short Message Noisy Network Coding (SNNC). SNNC differs from Long Message Noisy Network Coding (LNNC) in that one transmits many short messages in blocks rather than using one long message with repetitive encoding. Several properties of SNNC are developed.

First, SNNC with backward decoding achieves the same rates as SNNC with offset encoding and sliding window decoding for memoryless networks where each node transmits a multicast message. The rates are the same as LNNC with joint decoding.

Second, SNNC enables early decoding if the channel quality happens to be good. This leads to mixed strategies that unify the advantages of decode-forward and noisy network coding.

Third, the best decoders sometimes treat other nodes' signals as noise and an iterative method is given to find the set of nodes that a given node should treat as noise sources.

We next consider the Multiple Access Relay Channel (MARC) with relay-source feedback. We propose a new decode-forward (DF) coding scheme that enables cooperation between the sources and the relay to achieve rate regions that include the capacity region of the MARC without feedback.

For the latter problem, we show that the minimum rate needed to accurately approximate a product distribution based on an un-normalized informational divergence is a mutual information. This result subsumes results of Wyner on common information and Han-Verdú on resolvability. The result also extends two cases where the source distribution is unknown but the entropy is known.

We then apply this result to network security where an effective security measure is defined that includes both strong secrecy and stealth communication. Effective secrecy ensures that a message cannot be deciphered and that the presence of meaningful communication is hidden. To measure stealth we use resolvability and relate this to binary hypothesis testing. Results are developed for wiretap channels and broadcast channels with confidential messages.

This thesis will published in 2014 by the Verlag Dr. Hut in the series “Informationstechnik”.

## Coding for Half-duplex Networks and The Trapdoor Channel

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik  
 1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer  
 2. Berichter: Prof. Frank R. Kschischang (University of Toronto)

Tag der mündlichen Prüfung: 29.08.2014



Die Arbeit untersucht zwei Themen aus der Informationstheorie: Kaskaden bzw. Netze mit einer Baumtopologie, aufgebaut aus rauschfreien, half-duplex beschränkten Relais, und den Trapdoor-Kanal. Ein Codierungs-schema wird eingeführt, welches Sendedaten durch die informations-abhängige Allokation von Sendezzeit-schlitzten repräsentiert. Die Strategie erreicht die Kapazität im Falle einer Quelle. Für Kaskaden bzw. Bäume, bestehend aus einer Quelle und einer unendlichen Anzahl von Relais, wird eine explizite Kapazitätsformel hergeleitet. Interessanterweise ist die Kapazität in Bits pro Kanalnutzung im binären Fall gleich dem Logarithmus des Goldenen Schnitts.

Im Fall von Kaskaden bzw. Bäumen, aufgebaut aus einer Quelle und aus Relais mit eigener Sendeinformation, wird gezeigt, dass die Codierungsstrategie die sogenannte Cut-Set-Schranke erreicht, falls die Sendedaten der Relais-Quellen unterhalb bestimmter Schranken liegen. Anschließend demonstrieren wir, dass die Auslöschungs-Codierung und die Constraint-Codierung natürliche Codierungsansätze für half-duplex beschränkte Netze sind. Im Speziellen befassen wir uns mit zwei Typen rauschfreier half-duplex Kaskaden mit zwei Quellen. In beiden Fällen wird die Kapazitätsregion hergeleitet. Das Erreichbarkeitsschema für einen der beiden Fälle basiert auf der neuen Idee, dass Links mit einer half-duplex beschränkten Senke im eigentlichen Sinne Auslösungskanäle sind.

Anschließend wenden wir uns unendlich tiefen Bäumen zu. Dabei wird gezeigt, dass man durch eine Constraint-Codierung an der Quelle und das Weiterleiten von Symbolen an den Relais die Multicast-Kapazität erreicht. Alle vorgestellten Codieran-

sätze schlagen hinsichtlich der Übertragungsrate die in der Praxis verwendeten deterministischen Ansätze.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit dem Trapdoor-Kanal. Wir geben dessen obere Kapazitätsschranke mit  $1/2 \cdot \log_2(5/2)$  Bits/Nutzung an. Die Schranke zeigt, dass Rückkopplung die Kapazität des Trapdoor-Kanals erhöht.

Abschließend präsentieren wir zwei neue Sichtweisen. Durch das Herleiten eines iterierten Funktionensystems wird zunächst gezeigt, dass der Trapdoor-Kanal mit Eingängen der Länge  $n$  als  $n$ -tes Element einer Folge betrachtet werden kann, die ein Fraktal approximiert. Anschließend wird ein Algorithmus präsentiert, der den Trapdoor-Kanal vollständig beschreibt und einer Rekursion ähnelt, die alle Permutationen einer gegebenen Sequenz erzeugt.

Two information theoretic topics are studied: cascades/tree-structured networks of error-free half-duplex-constrained relays and the trapdoor channel. In the former case, a coding scheme is developed which represents data by an information-dependent allocation of the transmission slots of the relays. The strategy achieves capacity for a single source. For cascades/trees composed of an infinite number of half-duplex-constrained relays and a single source, an explicit capacity expression is derived. Interestingly, the capacity in bits per use in the binary case is equal to the logarithm of the golden ratio. If the cascades/trees include a source and relays with their own information, we show that the strategy achieves the cut-set bound when the rates of the relay sources fall below certain thresholds. Subsequently, we demonstrate that certain

well-studied classes of codes, namely erasure codes and constrained codes, are natural codes in the context of half-duplex transmission. Specifically, we focus on noise-free half-duplex-constrained line networks with two sources where the first node and either the second node or the second-last node act as sources. In both cases, the capacity region is established. The achievability scheme for the first case uses the new idea that links with a half-duplex-constrained sink are erasure channels. We then address infinite-depth trees of error-free half-duplex-constrained relays and show that the multicast capacity is achieved using constrained coding at the source and simple symbol forwarding at the relays. All codes introduced in this thesis outperform the standard approaches used in half-duplex networks, namely to require each network node to listen and to send half of the time, organized in a deterministic fashion.

In the second part of this thesis, the problem of maximizing the  $n$ -letter mutual information of the trapdoor channel is considered. We show that  $1/2 \cdot \log_2(5/2)$  bits per use is an upper bound on its capacity. This upper bound proves that feedback increases the capacity of the trapdoor channel. We further present two novel views on the trapdoor channel. First, by deriving the underlying iterated function system (IFS), it is shown that the trapdoor channel with input blocks of length  $n$  can be regarded as the  $n^{\text{th}}$  element of a sequence approximating a fractal. Second, an algorithm is presented that characterizes the trapdoor channel and resembles the recursion of generating all permutations of a given string.

This thesis was published online at <http://mediatum.ub.tum.de>.

Hassan Ghozlan, Ph.D.

## Information Theory for Channels with Kerr Nonlinearity and Phase Noise

Promotionsverfahren der University of Southern California (USC)  
 1<sup>st</sup> Examiner: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer (TU München)  
 2<sup>nd</sup> Examiner: Prof. Urbashi Mitra (USC)  
 3<sup>rd</sup> Examiner: Prof. Jason Fulman (USC)

Tag der mündlichen Prüfung: 17.09.2014

Datennetze, insbesondere das Internet, haben für das heutige Leben eine enorme Bedeutung erlangt. Die über diese Netze angebotenen Dienste erstrecken sich von einfachen Anwendungen wie Email bis zu Diensten mit einem enormen Bandbreitenbedarf wie beispielsweise Video-Streaming. Der von immer mehr Internetnutzern generierte Datenverkehr hat in den letzten Jahren exponentiell zugenommen.

Der Großteil des Verkehrsaufkommens für Daten und Telefonie läuft in den Betreibernetzen über Glasfaserverbindungen. Kennt man die absolute Grenze der Informationsübertragung über optische Netze, so lassen sich Richtlinien für das Design der optischen Systeme angeben, um das schnell wachsende Verkehrsaufkommen in Zukunft bewältigen zu können.

Eine solche fundamentale Grenze der Informationsübertragung ist die Kanalkapazität. Bei optischen Systemen wird diese im Wesentlichen durch drei Ursachen begrenzt:

- durch Rauschen,
- aufgrund der Dispersion, und
- durch die Kerr-Nichtlinearität.

The optical fiber channel suffers from three main impairments: noise, dispersion, and Kerr non-linearity. Noise arises due to amplified spontaneous emission during signal amplification. Dispersion occurs due to the dependence of the fiber refractive index on the frequency of the input while the Kerr non-linearity arises due to the dependence of the fiber refractive index on the intensity of the input. The interaction between these three phenomena makes the problem of estimating the capacity challenging.

In this thesis, we develop discrete-time interference channel models for

information transmission over optical fiber using wavelength-division multiplexing. A set of coupled nonlinear Schrödinger equations (derived from Maxwell's equations) is the cornerstone of the models. The first model is a memoryless model that captures the nonlinear phenomena of the cross-phase modulation but ignores dispersion. The main characteristic of the model is that amplitude variations on one carrier wave are converted to phase variations on another carrier wave, i.e., the carriers interfere with each other through amplitude-to-phase conversion. For the case of two carriers, a new technique called interference focusing is proposed where each carrier achieves a capacity pre-log 1, thereby doubling the pre-log of 1/2 achieved by using conventional methods. For more than two carriers, interference focusing is also useful under certain conditions.

The second model captures the nonlinear phenomena of the cross-phase modulation in addition to dispersion. The dispersion is included by taking into account the group velocity mismatch but ignoring all higher-order effects of dispersion. Moreover, the model captures the effect of filtering at the receivers. In a 3-user system, it is shown that all users can achieve the maximum pre-log factor 1 simultaneously by using the interference focusing technique, a time-limited pulse and a bank of filters at the receivers.

The dissertation next considers phase noise. Phase noise arises in communication systems due to the instability of oscillators used, e.g., for satellite, microwave or optical fiber communication. A waveform channel is considered where the transmitted signal is corrupted

by Wiener phase noise and additive white Gaussian noise. A discrete-time channel model that takes into account the effect of filtering on the phase noise is developed. The model is based on a multi-sample receiver, and an integrate-and-dump filter whose output is sampled at a rate higher than the signaling rate. It is shown that, at high Signal-to-Noise Ratio (SNR), the multi-sample receiver achieves a rate that grows logarithmically with the SNR if the number of samples per symbol (also called the oversampling factor) grows with the square root of the SNR. Moreover, the pre-log factor is at least 1/2 in this case, which is achieved by amplitude modulation. The logarithmic behavior of the multi-sample receiver is a significant improvement over the double-logarithmic behavior of a matched filter receiver. Numerical simulations show that oversampling at the receiver is beneficial for both strong and weak phase noise at high SNRs.

The results are compared with results obtained when using other discrete-time models. Finally, it is shown for an approximate discrete-time model with oversampling that the capacity pre-log at high SNR is at least 3/4, if the number of samples per symbol grows with the square root of the SNR. The analysis shows that phase modulation achieves a pre-log of at least 1/4 while amplitude modulation achieves a pre-log of 1/2. This is strictly greater than the capacity pre-log of the approximate discrete-time Wiener phase noise channel with only one sample per symbol, which is 1/2.

This thesis will be published by the University of Southern California.

## **Electronic Compensation of Transmission Impairments in Fiber-Optic Communication Systems**

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herzog

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Prof. Polina Bayvel (University College London)

Tag der mündlichen Prüfung: 13.11.2014

(Annahme durch die Fakultät EI im April 2014)

Die Übertragung in faseroptischen Systemen wird bedingt durch Fasermaterial und Wellenleitergeometrie verschiedenartig beeinträchtigt. Die dominanten Effekte sind Chromatische Dispersion (CD), Polarisationsmodendispersion (PMD) und Fasernichtlinearität. Das Zusammenwirken dieser Effekte führt zu Intersymbolinterferenzen (ISI).

In hochbitratischen Weitverkehrssystemen müssen diese Effekte kompensiert werden. In konventionellen Systemen, in denen Chromatische Dispersion dominiert, verwendet man hierzu sog. dispersionskompensierende Fasern (DCF). Durch passendes Dispersionsmanagement können auch durch das Zusammenwirken von CD und Nichtlinearität entstehende Störungen verringert werden. Diese Technik hat leider auch Nachteile: DCF-Module führen zu zusätzlichem Leistungsverlust, sie können die Systemkosten erhöhen und sind nicht flexibel.

Die Nutzung von Signalverarbeitung stellt eine interessante Alternative dar. Diese Arbeit behandelt die Elektronische Vorverzerrung (EPD) zur Kompensation der relevantesten Übertragungsstörungen. Sie gibt eine Einführung in optische Übertragungssysteme, die wichtigsten Systemkomponenten und Störeffekte, sowie die am weitesten verbreiteten Modulationsformate für Direktempfang und differentiellen Empfang. Die numerische Simulation der Übertragung auf Einmodenfasern mit der *Split-Step Fourier Methode* und eine effiziente Implementierung mittels handelsüblicher Grafikchips (GPU) wird vorgestellt. Das Prinzip des EPD-Verfahrens wird erklärt und ein mathematisches Modell des EPD-Senders wird aufgestellt. Die Anwendung des Verfahrens zur Kom-

pensation von Chromatischer Dispersion, Fasernichtlinearitäten und Polarisationsmodendispersion wird betrachtet und die Leistungsfähigkeit analysiert. Zudem werden die Ergebnisse der Systemsimulation von Weitverkehrsstrecken bei 10.7 Gbit/s und 42.8 Gbit/s für verschiedene Modulationsformate mit direktem oder differentiellem Empfang präsentiert. Die Arbeit zeigt auch die Komplexität des EPD-Verfahrens, sowie die Anforderungen an die D/A-Wandler auf. Verschiedene Ansätze zur Verringerung der Komplexität werden vorgestellt. Obwohl der Fokus in dieser Arbeit auf Systemen mit Direktempfang liegt, kann das EPD-Verfahren auch in Systemen mit kohärentem Empfang angewandt werden. Einige der vorgestellten Ergebnisse können zudem auch auf die Signalverarbeitung in solchen Systemen übertragen werden.

Fiber-optic transmission is subject to several impairments which result from the transmission fiber's material and geometry. The dominant effects are chromatic dispersion (CD), polarization mode dispersion (PMD) and Kerr-nonlinearity. The interaction of these effects leads to intersymbol interference (ISI). In long-haul, high-speed communication links these effects have to be mitigated. In conventional optical communication systems CD, which is responsible for the major part of the ISI, is compensated by means of dispersion compensating fiber (DCF). By using appropriate dispersion management the distortion caused by fiber nonlinearity can be mitigated also. While this technique has proven efficient it also has disadvantages: DCF modules introduce additional signal loss, they can drive

system cost, and the scheme lacks flexibility.

The use of electronic signal processing techniques has emerged as a flexible and cost efficient alternative. The subject of this work is electronic predistortion (EPD) for the compensation of the major transmission impairments. An introduction to optical communication systems, components and some of the most widely used modulation formats with direct or differential detection is provided. Moreover, numerical simulation of single-mode fiber is discussed and an efficient implementation using graphics processing units (GPU) is proposed. The principle behind EPD is explained and a mathematical model of the EPD transmitter is introduced. The application of the technique for the compensation of chromatic dispersion, fiber nonlinearity and polarization mode dispersion is described with a particular focus on the EPD filter. In addition to that, the performance of EPD for long haul transmission at 10.7 Gbit/s and 42.8 Gbit/s is analyzed and compared to optically dispersion managed systems for various target modulation formats. This work also provides an analysis of the complexity of signal processing operations for EPD and the D/A converter requirements for various modulation formats. Several approaches to reduce the complexity of EPD are provided and performance trade-offs are discussed. While the focus of this work is on systems with direct detection, the EPD technique can also be combined with coherent receivers and some of the results can be transferred to systems with coherent detection.

This thesis will be published by the Verlag Dr. Hut in the series "Informationstechnik".



Die Kombination des Modulationsverfahrens OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) mit mehreren Sende- und Empfängersantennen hat sich für die Funkübertragung mit hohen Datenraten bewährt. Allerdings wächst dabei auch die Komplexität des optimalen Empfängers im Allgemeinen exponentiell mit der Datenrate.

In dieser Arbeit werden sowohl effiziente Detektionsalgorithmen als auch verschiedene Ansätze zur adaptiven Übertragung mit Kanalkenntnis am Sender untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Leistungsfähigkeit der Übertragungsverfahren in Verbindung mit Kanalcodierung, wobei sich die Transinformation als geeignetes Vergleichskriterium erweist. Neben der Punkt-zu-Punkt-Übertragung wird auch der Fall betrachtet, dass mehrere mobile Endgeräte gleichzeitig durch eine zentrale Basisstation bedient werden.

Die Dissertation wird im Shaker Verlag in der Reihe "Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik der Universität Bremen" erscheinen.

Over the past decades the data rate offered by digital communication systems has experienced an exponential growth. Modern applications like high-definition video streaming or interactive cloud-based services will require this trend to continue in the future. This is further complicated by the fact that traditional wired networks are being replaced by wireless systems that provide internet access almost anytime and anywhere.

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) proved to be well suited for broadband data transmission, as it transforms the dispersive channel into a set of par-

**Dr.-Ing. Ronald Böhnke**

## Efficient Detection and Adaptive Transmission for MIMO-OFDM Systems

Promotionsverfahren der Universität Bremen

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Karl-Dirk Kammeyer

Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Carmelita Görg

Prof. Dr.-Ing. Rainer Laur

Tag der mündlichen Prüfung: 25.08.2014

allel non-interfering channels. It is applied in many current wireless communication standards, such as terrestrial digital audio and video broadcasting (DAB/DVB), 3GPP Long Term Evolution (LTE) for cellular networks, as well as the IEEE 802.11 family of standards for wireless local area networks (WLAN).

More general multi-carrier techniques are currently under discussion for next generation mobile networks, but the basic principles remain the same. However, increasing only the bandwidth in order to cope with the rate requirements is not a viable option, because the wireless spectrum is scarce and expensive in the commonly used frequency bands below 6 GHz.

Multiple input multiple output (MIMO) systems using several transmit and receive antennas represented a major breakthrough, as they exploit space as an additional resource. Besides an improved link reliability due to spatial diversity, multiple antennas can simultaneously transmit parallel data streams that can be separated at the receiver based on their different propagation conditions. Thus, MIMO systems have become a key ingredient of modern communication standards.

Unfortunately, the complexity of an optimal MIMO detector increases exponentially with the data rate, which is infeasible for practical implementation. Therefore, a plethora of suboptimal detection algorithms has been proposed in the literature. However, most of them were developed and analyzed for uncoded transmission, which does not reflect the performance in combination with powerful channel codes. The same applies to space-time codes that aim at spatial diversity.

This thesis provides a thorough overview of existing transmit strategies and detection algorithms and compares their performance in conjunction with channel coding. In this context, the impact of feedback from the channel decoder to the detector is also investigated. In order to obtain general results that do not depend on a specific channel code, the main focus is on computing mutual information.

If channel knowledge is available, the transmitter can adapt to the channel to improve the performance, in particular in combination with sub-optimal receivers. For scenarios with low mobility, the assumption of ideal channel state information is justified, which allows to diagonalize the MIMO channel by adaptive filtering at the transmitter and receiver. In case of a low-rate feedback link, it is still possible to adapt certain parameters such as the data rate or the transmit power on each antenna. On the other hand, adaptive precoding also enables the simultaneous transmission of data to independent receivers. This is especially important for the downlink of a multi-user system, where channel knowledge at the base station can be utilized to optimize resource allocation among users.

In the literature, usually only isolated topics have been treated. This thesis provides a comprehensive survey of the advantages provided by channel state information at the transmitter. The focus is again on the achievable rates in conjunction with strong channel codes.

The thesis is published by the Shaker Verlag in the series "Forschungsberichte aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik der Universität Bremen".

## 5.2 Curricula Vitae unserer Doktoranden

**Markus Roppelt, Mohit Thakur, Oscar Gaete, Beril Inan, Jie Hou, Tobias Lutz, Hassan Ghozlan, Ronald Böhnke, Stephan Hellerbrand**



**Dr.-Ing. Markus Roppelt**, 1984 in Bruchsal geboren, studierte an der Technischen Universität Karlsruhe von 2003 bis 2009 Elektro- und Informatikstechnik. Während des Studiums nahm er am Europäischen Gemeinschaftsstudium für Ingenieure der Elektrotechnik und Informationstechnik im Tripartite-Programm teil. Nach dem Grundstudium in Karlsruhe, wechselte er an die École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique (ESIEE) in Paris, wo er sich auf Nachrichtentechnik spezialisierte. Nach Abschluss seiner Diplomarbeit 2009 an der Universidad Pontificia de Comillas in Madrid mit dem Thema „OFDM-Übertragung in stark verrauschten Kanälen“ arbeitete er bei ADVA Optical Networking SE in Meiningen/Thüringen als Doktorand auf dem Gebiet der optischen Zugangsnetze. Ein Hauptaspekt lag auf passiven optischen Systemen mit Wellenlängenmultiplex (WDM-PON). Während dieser Zeit nahm er an mehreren Forschungsprojekten teil, u.a. ICT-OASE sowie ADVAnlage-PON. Die Forschungsergebnisse wurden in fünf Patentanmeldungen sowie in 13 Artikeln in referierten Zeitschriften sowie bei Vorträgen auf nationalen und internationalen Konferenzen veröffentlicht.

**Dr.-Ing. Mohit Thakur** was born in New-Delhi (India). He attained his Bachelor of Technology specializing in electronics and communications engineering from Punjab Technical University (India). Thereafter, he completed his Master of Science in computer and communication networks from Télécom Sudparis in 2005. During 2006–2007, he worked as a Research Scientist in Corporate



Technology at Siemens AG in Munich. At Siemens, his research focused on the topics of routing and network coding over wireline networks.

After the brief industrial sojourn, he started to work on his Dr.-Ing. degree, under the supervision of Professor Ralf Kötter (then head of the Institute of Communications Engineering – LNT) and later with Professor Gerhard Kramer (starting 2010) as a Research Assistant at LNT, which he completed in March 2014. During the time as Research Assistant, he tutored the courses *Advanced Topics in Communications Engineering* and *Optimization in Communications and Signal Processing*. In addition, his research focused on relay positioning for multicast networks. He collaborated with researchers from MIT (Professor Muriel Médard) and Technicolor-Palo Alto (Nadia Fawaz) for his research, and visited MIT on various occasions as a visiting scholar.

Starting July 2014, he is working as a Research Scientist in the *Institute of Communications and Navigation* at Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

**Dr.-Ing. Oscar Gaete**, (1981, Viña del Mar, Chile) obtained his degree (Dipl.-Ing.) in Electronic Engineering in 2005 from the Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, working in the field of automatic control of nonlinear systems. In 2007, he received the degree of M.Sc. in Photonics from the HTW Aalen, Germany, where he specialized in analog modulation techniques for applications in optical wireless communications, which resulted in a thesis titled “Information Broadcast with Visible Light”, conducted at the Siemens Corporate Technology offices in Munich.



Between 2007 and 2011 he worked as a researcher under the supervision of Professor Hanik in the department *Wireline Transmission Technology* at TU München. He engaged in the optimization of fiber optic transmission links within the European project 100GET, in close cooperation with Nokia-Siemens Networks. His research focused on the optimization of spectrally efficient modulation formats for direct-detected WDM systems at data rates up to 100 Gbit/s.

At LNT, he served as teaching assistant for Professor Hanik's lectures *Nachrichtentechnik II* and *Optical Communication Systems*, and he regularly advised students for the seminar courses, and guided four Master's Theses. In 2010 he was a visiting scholar at the University of Melbourne, Australia, where he was involved in research on coherent optical OFDM systems.

He currently works as a systems engineer at Intel Mobile Communications GmbH in Munich, developing wireless transceivers for cellular telephony.

**Dr.-Ing. Beril Inan** was born in Ankara, Turkey, in 1983. She got her B.Sc. degree from Middle East Technical University in 2005, from the Electrical and Electronics Engineering Department. She received the M.Sc. degree in Electric Engineering in 2008 from Eindhoven University of Technology, The Netherlands. She carried out her master thesis on visible light communication using discrete multitone modulation at Siemens AG, Munich, Germany. In February 2009, she started working on her Ph.D. at Technical Uni-



# 5

## Promotionen Habilitationen

versity of Munich. The project was in cooperation with Nokia Siemens Networks Optical Communication Division in Munich, Germany which is currently Coriant GmbH. The main focus of her research during the Ph.D. project was applications of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) in long-haul optical communications. She looked into both real-time applications and few mode fiber applications. She taught the Optical Communication Laboratory during summer semesters.

In the last year of her Ph.D., she did a 3-month exchange at KDDI Corporation, optical communications research group at Saitama, Japan. The topic was modeling a subsystem in the few mode fiber system KDDI is building. She contributed to more than thirty papers as author and co-author during the Ph.D. at significant optical communication conferences such as the Optical Fiber Conference (OFC), European Conference on Optical Communications (ECOC) and also IEEE and OSA journals. She was the first author of thirteen of these publications and has two invited papers. She is an IEEE member and serves as a reviewer for IEEE and OSA journals.

Beril Inan is currently on parental leave and takes care of her son, Poyraz, who was born on 12th June.

**Dr.-Ing. Jie Hou**, geboren 1982 in Nanjing, China, schloss 2008 sein Studium im Fach Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München ab. Danach war Jie Hou bis 2014 wissenschaftlicher Assistent von Prof. Kötter und Prof. Kramer am Lehrstuhl für



Nachrichtentechnik (LNT). Sein wissenschaftliches Interesse galt der Codierung für Relaisnetzwerke und der Sicherheit in Kommunikationsnetzen. Anfang 2010 verbrachte er einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt an der University of Southern California (USC) in Los Angeles.

In der Lehre konzipierte und betreute Jie Hou die Zentralübungen zu den Veranstaltung *Multi-user Information Theory*, *Advanced Topics in Signal Processing*, *Nachrichtentechnik 1* sowie *Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme*. Zu seinen weiteren Aufgaben am LNT zählte 2008/2009 die Bearbeitung des Projektes *NewCom++* in Kollaboration mit diversen anderen europäischen Universitäten und die Organisation des *1. Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information* 2012.

**Dr.-Ing. Tobias Lutz**, 1980 in Krumbach geboren, studierte an



der TU München von 2002 bis 2008 Elektrotechnik und Informationstechnik. Nach Abschluss seines Vorstudiums wechselte er 2005/06 für ein einjähriges Gaststudium an das Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) in Troy, New York. Von 2008 bis 2014 war Tobias Lutz wissenschaftlicher Assistent von Professor Ralf Kötter und Professor Gerhard Kramer am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) der TU München. Während dieser Zeit absolvierte er auch ein Studium der Wirtschaftsmathematik an der LMU München.

In den ersten drei Jahren seiner Assistentenzeit arbeitete Tobias Lutz für das europäische Forschungsprojekt N-Crave, wo er sich mit theoretischen Aspekten der Netzcodierung sowie der Implementierung von Netzprotokollen beschäftigte. Sein wissenschaftliches Interesse ist im Bereich der Mehrbenutzer-Informationstheorie anzusiedeln. Im Speziellen beschäftigte er sich mit dem Entwurf von Timing-Codes für half-duplex beschränkte Netze und deren informationstheoretischer Analyse.

Von August 2012 bis April 2013 verbrachte er einen achtmonatigen Forschungsaufenthalt an der Stanford University. Während dieser Zeit besuchte er verschiedene Kurse aus dem Bereich der Mathematik und der Informatik und beschäftigte sich in der Forschung mit gedächtnisbehafteten Kanälen.

In der Lehre organisierte T. Lutz vier Jahre lang das *Grundpraktikum Nachrichtentechnik*. Weiterhin betreute er studentische Arbeiten im Rahmen der EI-MSc-Veranstaltung *Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme* sowie des *Seminars on Topics in Communications Engineering* (für MSCE). Im letzten Drittel seiner Assistentenzeit war T. Lutz zweimal Betreuer der Vorlesung *Advanced Topics in Communications Engineering* sowie der Vorlesung *Information Theory*. Im Jahre 2012 erhielt er ein *Qualcomm Innovation Fellowship* in Höhe von 10.000 €.

**Hassan Ghozlan**, Ph. D., received his Bachelor degree in Electronics



and Communication in 2007 from Cairo University, Egypt. He then worked as a research assistant at the Wireless Intelligent Networks Center (WINC) at Nile University, Egypt. In 2009, he received his Masters degree in Wireless Communications from Nile University. He joined the Ph.D. program in Fall 2009 in the Ming Hsieh Department of Electrical Engineering at the University of Southern California (USC). He visited the Institute for Communications Engineering (LNT) at the Technical University of Munich (TUM) from May 2011 to July 2011 and from January 2012 to May 2013.

His research interests are Information Theory, Optical and Wireless Communication, Relaying and Cooperative Communication. His dissertation under the supervision of Professor Gerhard Kramer is on information-theoretic analyses of cross-phase modulation in dispersive optical fiber and of phase noise in communication systems.

**Dr.-Ing. Ronald Böhnke**, 1976 in Bremen geboren, studierte Elektro- und Informationstechnik an der Universität Bremen und war dort ab September 2002 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Nachrichtentechnik tätig, wo er über Sende- und Empfangsstrategien für Mehrantennensysteme promovierte.

Während seines Studiums absolvierte er ein dreimonatiges Praktikum im Forschungszentrum der Intel Corporation in Santa Clara, Kalifornien. Darüber hinaus war er 2002 für zwei Monate als Gastwissenschaftler am Fraunhofer Institut für Telekommunikation, Heinrich-Hertz-Institut, in Berlin.

Im September 2010 wurde Ronald Böhnke wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation der TU München, wo er an der Konzeption eines geostationären Relais-Satellitensystems mitwirkte. Nach Abschluss des Projekts wechselte er im Februar 2012 an den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, und seit Juni 2014 ist er im Bereich Mobilfunk am *European Research Center* der Huawei Technologies Düsseldorf GmbH in München tätig.

Ronald Böhnke war Mitglied der Studienstiftung des deutschen Volkes und erhielt den Karl-Nix-Preis für das Abitur, den VDE-Preis für das

Diplom und einen Best Paper Award beim IEEE International Workshop on Cross-Layer Design 2007.

**Dr.-Ing. Stephan Hellerbrand**, geboren 1980 in München, studierte von 1999 bis 2005 an der Technischen Universität München Elektro- und Informationstechnik mit dem Schwerpunkt Nachrichtentechnik.

Nach einem Jahr an der University of Melbourne schloss er sein Studium mit einer Diplomarbeit über trellis-basierende Quantisierung ab, die er großteils am Lund Institute of Technology in Schweden anfertigte. Von Herbst 2005 bis März 2010 arbeitete Stephan Hellerbrand am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik in der Optikgruppe von Prof. Hanik an elektronischen Methoden zur Störungskompensation auf Glasfaserstrecken, über mehrere Jahre im Rahmen des BMBF-Projekts EIBONE (*Efficient Integrated BackBONE*) in Zusammenarbeit mit T-Systems.

Er wirkte 2009 drei Monate als Gastforscher in der *Optical Networks Group* von Prof. Bayvel am *University College London* an Forschungsarbeiten über kohärente optische Übertragungssysteme für Datenraten größer als 40 Gbit/s mit. Er konzipierte zudem das Praktikum *Simulation of Optical Communica-*



*tion Systems* und betreute dieses von 2006 bis 2009. Weiterhin betreute er verschiedene studentische Arbeiten im *Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme*, im *Seminar on Topics in Communications Engineering*, und im *International Student Seminars on Communications* an der American University Beirut. 2008 betreute er den Kurs *Selected Topics in Communications Engineering* an der Tongji Universität in Shanghai. Daneben war er über viele Jahre mit der Verwaltung der IT-Infrastruktur und der Systemadministration am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik betraut.

Im August 2010 trat Stephan Hellerbrand bei der ubitexx GmbH eine Stelle als Projektleiter und Produktmanager für Cross-Platform Mobile-Device Management Software an. Seit der Übernahme im Mai 2011 von ubitexx durch Research In Motion (BlackBerry) ist er dort als Produktmanager für die Unternehmenssoftware tätig.

### 5.3 Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung

Dez. 2012            **Mohammad Karzand**, Ph.D.

Polar Coding for Communication Networks

Promotionsverfahren der École Polytechnique Fédérale de Lausanne

1<sup>st</sup> Examiner: Prof. Emre Telatar, EPFL

2<sup>nd</sup> Examiner: Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer**

Prof. Erdal Arikan, Bilkent

Prof. Bixio Rimoldi, EPFL

Juni 2013            **Luis Salamanca**, Ph.D.

Approximate and Exact Inference for Channel Coding

Promotionsverfahren der Universidad de Sevilla

1<sup>st</sup> Examiner: Juan José Murillo Fuentes, Universidad de Sevilla

Fernando Pérez Cruz, Universidad Carlos III de Madrid

2<sup>nd</sup> Examiner: Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer**

Prof. Rüdiger Urbanke, EPFL

Prof. Alfonso Martínez Vicente, Universitat Pompeu Fabra

Der nebenstehenden Liste ist zu entnehmen, dass Prof. Gerhard Kramer bei fünf Promotionsverfahren als Zweitgutachter mitgewirkt hat:

- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (zweimal)
- Universidad de Sevilla
- Technische Universität Graz
- Universität Bremen

# 5

Promotionen  
Habilitationen

- Dez. 2013      **Amir Hesam Salavati, Ph.D.**  
Coding Theory and Neural Associative Memories with Exponential Pattern  
Retrieval Capacity  
Promotionsverfahren der École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- 1<sup>st</sup> Examiner: Prof. Amin Shokrollahi, EPFL  
2<sup>nd</sup> Examiner: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*  
Prof. Hans-Andrea Loeliger, ETH Zürich  
Prof. Matthias Seeger, EPFL
- Juni 2014      **Dr.-Ing. Bernhard C. Geiger**  
Information Loss in Deterministic Systems  
Promotionsverfahren der Technischen Universität Graz
1. Berichter: Prof. Dr. Gernot Kubin, TU Graz  
2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*
- Aug. 2014      **Dr.-Ing. Ronald Böhnke**  
Efficient Detection and Adaptive Transmission for MIMO-OFDM Systems  
Promotionsverfahren der Universität Bremen
1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Karl-Dirk Kammeyer, Universität Bremen  
2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*
- Sept. 2012      **Dr.-Ing. Muhammad Rameez Asif**  
Analysis and Application of Digital Backward Propagation in High Bit-Rate Optical Transmission Systems  
Promotionsverfahren der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß, FAU Erlangen-Nürnberg  
2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*
- Okt. 2012      **Dr.-Ing. Daniel Götz**  
Verfahren zur elektrischen Kompensation der Polarisationsmodendispersion in optischen Übertragungssystemen  
Promotionsverfahren der Technischen Universität Darmstadt
1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Peter Meissner, TU Darmstadt  
2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Franko Küppers, TU Darmstadt  
3. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*
- März 2013      **Dr.-Ing. Markus Nölle**  
Spectrally Efficient Optical Coherent Wavelength-Division Multiplexed Transmission Systems  
Promotionsverfahren der Technischen Universität Berlin
1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Petermann, TU Berlin  
2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*
- Apr. 2013      **Dr.-Ing. Fabian Hauske**  
Digital Signal Processing in High Speed Optical Receivers  
Promotionsverfahren der Universität der Bundeswehr, München
1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Berthold Lankl, Univ. der Bundeswehr, München  
2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*
- Apr. 2013      **Dr.-Ing. Stephan Kellnberger**  
Thermoacoustic Imaging in Time and Frequency Domain. Theory and Experiments  
Promotionsverfahren der Technischen Universität München
1. Berichter: Prof. Vasilis Ntziachristos, TU München  
2. Berichter: Prof. George D. Sergiadis, Aristoteles-Universität Thessaloniki  
3. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*



Aug. 2013      **Valeria Arlunno**, Ph.D.  
 Advanced Equalization techniques for Digital Coherent Optical Receivers  
 Promotionsverfahren der TU Denmark in Kopenhagen  
 1<sup>st</sup> Examiner: Prof. Ildefonso Tafur Monroy, TU Denmark, Copenhagen  
 2<sup>nd</sup> Examiner: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*  
 Prof. Roberto Gaudino, Politecnico di Torino

Jan. 2014      **Dr.-Ing. Chien-Yu Lin**  
 Digital Nonlinear Compensation for Next Generation Optical  
 Communication Systems using Advanced Modulation Formats  
 Promotionsverfahren der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg  
 1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß, FAU Erlangen-Nürnberg  
 2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

Sept. 2014      **Dr. ir. Roy van Uden**  
 MIMO Digital Signal Processing for Optical Spatial Division Multiplexed  
 Transmission systems  
 Promotionsverfahren der T. U. Eindhoven  
 1. Prüfer: Prof. dr.-ir. A. M. J. Koonen, TU Eindhoven  
 2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik* und weitere Prüfer

## 5.4 Habilitationsverfahren mit LNT-Beteiligung

Okt. 2012      **Mari Kobayashi**, Habilitationsvortrag  
 Opportunistic Use of Channel State Information in Multiuser  
 Communications  
 Habilitationsverfahren der École Supérieure d'Électricité (Supélec) in Paris  
 Examiners: Prof. Pierre Duhamel, CNRS, Supélec  
 Prof. Hikmet Sari, Supélec  
 Prof. Angel Lozano, Universitat Pompeu Fabra  
 Prof. Jean-Claude Belfiore, Telecom-ParisTech  
 Rapporteur: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*  
 Prof. Fijalkowm, ENSEA  
 Prof. Vandendorpe, UC Louvain

Prof. Gerhard Kramer war zudem im Berichtszeitraum als „Rapporteur“ bei einem Habilitationsverfahren an der École Supérieure d'Électricité (Supélec) in Paris beteiligt.

## 5.5 Vorträge im Doktorandenseminar

### Wintersemester 2012/2013

22.11.2012 **Hassan Ghozlan** (LNT):  
 Communication in Presence of Wiener Phase Noise

22.11.2012 **Beril Inan** (LÜT):  
 Equalizer Complexity of Mode Division Multiplexed Coherent Receivers

29.11.2012 **Stefan Dierks** (LNT):  
 Feasibility Conditions for Interference Alignment over Sub-carriers

29.11.2012 **Dr. Georg Böcherer** (LNT):  
 Pinsker's Inequality for Random Vectors

13.12.2012 **Jie Hou** (LNT):  
 Communicating Probability Distributions

13.12.2012 **Onurcan İşcan** (LNT):  
 Low Complexity Relaying for the Two-way Relay Channel

This section lists presentations given by our doctoral candidates and post-docs in our Doktoranden Seminar.

Aufgeführt sind hier die Vorträge, die im Rahmen des Doktorandenseminars von Mitarbeitern des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) und des Fachgebiets Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT) gehalten wurden.

Kursiv hervorgehoben sind diejenigen Mitarbeiter, deren Promotionsverfahren im Berichtszeitraum abgeschlossen wurden. Potenzielle Kandidaten für den Abschluss ihrer Promotion in nächster Zeit erkennt man also daran, dass in der Liste weder ein „Dr.“ vorangestellt ist noch der Name in Kursivschrift erscheint.



- 20.12.2012 **Michael Heindlmaier** (LNT):  
On Linear Joint Source Channel Coding
- 20.12.2012 **Mohit Thakur** (LNT):  
Optimal Relay Positioning in Low-SNR Wireless Networks
- 10.01.2013 **Hannes Bartz** (LNT):  
Graph based Design of Locally Repairable Codes
- 10.01.2013 **Markus Stinner** (LNT):  
Finite-length Scaling for Low-Density Parity-Check Codes
- 31.01.2013 **Elisabeth Georg** (LÜT):  
Characteristics of an In-vehicle PLC Channel
- 31.01.2013 **Yingkan Chen** (LÜT):  
Increasing Fiber Nonlinearity Tolerance in Long Haul PDM CO-OFDM Transmission using Expectation Maximization
- 07.02.2013 **Joschi Brauchle** (LNT):  
Are Gabidulin codes a variant of Generalized Reed–Solomon codes?
- 07.02.2013 **Tobias Fehenberger** (LÜT):  
Decoding Limit Estimate of LDPC Codes with Application to Optical Transmission
- Sommersemester 2013**
- 17.06.2013 **Prof. Gerhard Kramer** (LNT)  
Encoding and Decoding for Relay Channels
- 17.06.2013 **Mohit Thakur** (LNT):  
Relay Positioning for Multicast Relay Networks
- 17.06.2013 **Michael Heindlmaier** (LNT):  
Scalar Quantize-and-Forward for Symmetric Half-Duplex Two-Way Relay Channels
- 17.06.2013 **Dr. Shirin Saeedi** (LNT):  
On the Multiple Access Channel with Cooperative Encoders
- 17.06.2013 **Tobias Lutz** (LNT):  
The Trapdoor Channel – Intermediate Results
- 17.06.2013 **Dr. Georg Böcherer** (LNT):  
Informational Divergence and Rate
- 17.06.2013 **Ronald Böhnke** (LNT):  
Mutual Information Analysis of Nonadaptive MIMO Transmission
- 17.06.2013 **Andrei Nedelcu** (LNT):  
Compact Antenna Arrays
- 18.06.2013 **Stefan Dierks** (LNT):  
Feasibility Conditions of Interference Alignment
- 18.06.2013 **Onurcan İşcan** (LNT):  
Design of Channel Codes with Receiver Side Information



18.06.2013 **Markus Stinner** (LNT):  
Finite-Length Scaling of C-LDPC Codes

18.06.2013 Dr. **Mansoor I. Yousefi** (LNT):  
Multiple Wave Propagation in Nonlinear Media

18.06.2013 Dr. **Luca Barletta** (LNT):  
On Computing Information Rate Bounds for the ARMA Phase Noise  
Channel

18.06.2013 **Tobias Fehenberger** (LÜT):  
Comparison of Performance Limits by Mutual Information

18.06.2013 **Yingkan Chen** (LÜT):  
Enhanced Sampling Frequency Offset Compensation for PDM CO-OFDM  
Transmission

18.06.2013 **Hannes Bartz** (LNT):  
Graph-based Design of Locally Repairable Codes

18.06.2013 **Joschi Brauchle** (LNT):  
Decoding Gabidulin Codes as GRS Codes

## Wintersemester 2013/2014

06.11.2013 **Onurcan İşcan** (LNT):  
Software Defined Radio

06.11.2013 **Michael Heindlmaier** (LNT):  
Slotted Aloha with Diversity

13.11.2013 Dr. **Georg Böcherer** (LNT):  
Some Distributions are more Uniform than Others

27.11.2013 **Jie Hou** (LNT):  
Effective Secrecy with Resolvability

27.11.2013 **Stefan Dierks** (LNT):  
Cooperation in Local Area Scenarios

11.12.2013 **Marwa El Hefnawy** (LNT):  
Efficiency Investigation on FTN Signaling

11.12.2013 **Yingkan Chen** (LÜT):  
37.4-km Urban Field Trial of OFDMA-PON using Colorless  
ONUs with Dynamic Bandwidth Allocation

18.12.2013 Dr. **Luca Barletta** (LNT):  
On the Modelling of Continuous-time White Phase Noise Channels

18.12.2013 **Tobias Fehenberger** (LÜT):  
Estimation of the Constrained Coded Modulation Capacity Applied to  
Optical Metro Networks

18.12.2013 **Tasnad Kernetzky** (LÜT student):  
Implementation and Simulation of Highly Parallelized Polar Codes for the  
AWGN Channel

- 08.01.2014 **Dr. Mansoor I. Yousefi** (LNT):  
 Discrete Capacity-Achieving Input Distributions
- 08.01.2014 **Tobias Lutz** (LNT):  
 Recursions for the Trapdoor Channel and an Upper Bound on its Capacity
- 15.01.2014 **Markus Stinner** (LNT):  
 Finite-length Behavior of Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes
- 15.01.2014 **Andrei Nedelcu** (LNT):  
 MIMO Communications with Compact Antenna Arrays
- 22.01.2014 **Hannes Bartz** (LNT):  
 Interpolation-based Decoding of Interleaved Subspace Codes
- 22.01.2014 **Elisabeth Georg** (LÜT):  
 Pulse-based Ultra Wideband Modulation for Automotive PLC
- 05.02.2014 **Dr. Shirin Saeedi** (LNT):  
 Capacity Bounds for a Class of Diamond Networks
- 05.02.2014 **Joschi Brauchle** (LNT):  
 On the Error-Correcting Radius of Folded Reed–Solomon Code Designs

The Doktoranden-Seminar in the 2014 summer semester was held over one and a half days. The seminar included an invited talk by Dr. Tareq Y. Al-Naffouri of the King Abdullah University of Science & Technology, Mekka, Saudi Arabia (see Chapter 10.3).

Das Doktorandenseminar im Sommersemester 2014 wurde als eineinhalbtagiger Blockveranstaltung abgehalten. Es gab zusätzlich einen eingeladenen Vortrag von Dr. Tareq Y. Al-Naffouri (King Abdullah University of Science & Technology, Mekka, Saudi Arabia), der im Kapitel 10.3 aufgeführt ist.

## Sommersemester 2014

- 10.06.2014 **Tobias Lutz** (LNT):  
 Recursions for the Trapdoor Channel and an Upper Bound on its Capacity
- 10.06.2014 **Michael Heindlmaier** (LNT):  
 The Two-User Broadcast Erasure Channel with Feedback and Memory
- 10.06.2014 **Dr. Shirin Saeedi** (LNT):  
 On the Capacity of Broadcast Erasure Channels with Feedback and Memory
- 10.06.2014 **Onurcan İşcan** (LNT):  
 Coding for the Broadcast Channel with Receiver Side Information
- 10.06.2014 **Onur Günlü** (LNT):  
 Secrecy via Physical Unclonable Functions (PUFs)
- 10.06.2014 **Joschi Brauchle** (LNT):  
 Syndrome Decoding of FRS Codes
- 10.06.2014 **Marwa El Hefnawy** (LNT):  
 Spectral Shaping for Faster-Than-Nyquist Signaling
- 10.06.2014 **Dr. Luca Barletta** (LNT):  
 Computing the Entropy of a Random Variable by Using its Moments
- 10.06.2014 **Tobias Fehnberger** (LÜT):  
 Digital Back-Propagation of a Superchannel: Achievable Rates and Adaption of the GN Model
- 10.06.2014 **Dr. Mansoor I. Yousefi** (LNT):  
 Flow of Energy in the Frequency Domain in Hamiltonian PDEs



10.06.2014 **Andrei Nedelcu** (LNT):  
MIMO Systems with Coupled Antennas: a Mixed Perspective

10.06.2014 **Hannes Bartz** (LNT):  
Efficient Root-Finding for Decoding Interleaved Subspace and Gabidulin Codes

10.06.2014 **Markus Stinner** (LNT):  
Termination of Spatially Coupled Codes

10.06.2014 Dr. **Georg Böcherer** (LNT):  
Achievable Rates for Bit-Metric Decoding

11.06.2014 **Jie Hou** (LNT):  
Effective Secrecy with Resolvability

11.06.2014 **Stefan Dierks** (LNT):  
The Benefit of Cooperation in Local Area Scenarios

11.06.2014 **Rana Ali Amjad** (LNT):  
Informational Divergence and Entropy Rate on Rooted Trees with Probabilities



# 6

## Arbeitsgebiete

### Überblick über die Forschungsthemen am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Gerhard Kramer

In den beiden letzten Jahren haben sich vier Postdoktoranden dem LNT angeschlossen: Luca Barletta vom *Politecnico di Milano*, Shirin Saeedi Bidokhti von der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Roy Timo von der *University of South Australia* und Mansoor Yousefi von der *University of Toronto*. Durch sie erhöht sich die Qualität unserer Forschung weiter und unsere Doktoranden haben zudem die Möglichkeit, mit erfahrenen Forschern zusammenzuarbeiten.

Forschungsschwerpunkte am LNT sind weiterhin *Informationstheorie* und *Codierung für Mehrbenutzersysteme*. Daneben gibt es vier neue Arbeitsgebiete, die uns zukünftig noch lange beschäftigen werden:

- Verteilungsanpassung,
- Code-Design mit Rückkopplung und Seiteninformation,
- Sicherheit und Vertraulichkeit,
- Nichtlinearitäten und Phasenrauschen von Glasfasersystemen.

2014 haben fünf Doktoranden ihre Promotion abgeschlossen. Auf den angegebenen Seiten finden Sie ihre Dissertationsthemen.

*Mohit Thakur* (S. 37) beschreibt die Relaispositionierung bei Verwendung von Netzcodierung. Er weist ein quasi-konkaves Verhalten der Ratsenschranken für AWGN-Netzwerke nach; dadurch vereinfachen sich die Platzierungsalgorithmen.

*Jie Hou* (S. 40) behandelt Zuverlässigkeit und Geheimhaltung. Er definiert mit *Effective Secrecy* ein neues

Sicherheitsmaß und entwickelt eine einfachere und mächtigere Beweisführung für den Weyerschen *Wiretap Channel* als die bisher bekannten.

*Tobias Lutz* (S. 41) beschäftigt sich mit *Timing Codes* und dem *Trapdoor Channel*. Für diesen findet er eine obere Ratenschranke, die nachweist, dass dessen Kapazität durch Rückkopplung vergrößert werden kann.

*Hassan Ghozlan* (S. 42) behandelt zwei Probleme: Für optische Kanäle hat er sich die *Interference Focusing Method* ausgedacht und zum Thema *Phasenrauschen* zeigt er, dass die Kapazität durch Überabtastung signifikant erhöht werden kann.

*Ronald Böhnke* (S. 44) betrachtet Detektionsalgorithmen für MIMO-Kanäle (*Multi-Input Multi-Output*). Er zeigt, dass *Channel State Information* für die Komplexität eine große Rolle spielt und entdeckt viele weitere Eigenschaften von MIMO-Kanälen.

Die Arbeitsgebiete der aktuellen Doktoranden und Postdocs des LNT finden Sie auf den Seiten 57–71:

- *A. Amjad* entwickelte *Resolvability Codes* unter Verwendung von Datenkompressions-Tools.
- *Dr. Barletta* entwickelte obere und untere Kapazitätsschranken für Kanäle mit Phasenrauschen.
- *H. Bartz* erweiterte die interpolationsbasierte Decodierung auf *Interleaved Subspace Codes*.
- *Dr. Böcherer* fand Shaping- und Modulationsschemata nahe der Shannonschen Kapazitätsgrenze.

- *J. Brauchle* erfand einen neuen und effizienten Erasure-Decoder für Gabidulin-Codes.
  - *S. Dierks* setzte sein Projekt *Scheduling Algorithms for Massive MIMO* mit Nokia fort.
  - *M. El Hefnawy* studierte die spektrale Effizienz von *Faster-than-Nyquist signaling*.
  - *O. Günlü* entwickelte eine neue Schlüsselaufbereitung für *Physical Unclonable Functions* (PUFs).
  - *M. Heindlmaier* fand Algorithmen für Mehrbenutzerkanäle mit Rückkopplung.
  - *O. İşcan* entwarf *Repeat-Accumulate Codes* für Kanäle mit Seiteninformation.
  - *A. Nedelcu* entwarf Schaltkreise von *Compact Antenna Arrays* im Hinblick auf maximale Kapazität.
  - *Dr. Saeedi* fand Algorithmen für Diamond- und Broadcast-Kanäle mit Rückkopplung.
  - *M. Stinner* entwickelte geeignete Design-Prinzipien für *Spatially-coupled LDPC Codes*.
  - *Dr. Timo* forschte zu den Themen *Random Coding*, verteilte Datenkompression, *Streaming Codes*.
  - *Dr. Yousefi's* Thema ist unter anderem die nicht-lineare Fouriertransformation für Glasfasern.
- Diese Liste zeigt die Vielfalt unserer Forschungsaktivitäten. Ich bin stolz auf die Leistungen der Postdocs und der Doktoranden, die zudem in Lehre und Administration eingespannt sind, und BT/MT-Studenten betreuen.

The past two years changed the composition of the LNT in that four postdoctoral researchers joined the chair: Luca Barletta from the *Poli-tecnico di Milano*, Shirin Saeedi from *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Roy Timo from the *University of South Australia*, and Mansoor Yousefi from the *University of Toronto*. Their presence raised the quality of research and, just as importantly, it gave the doctoral students opportunity to interact with experienced researchers at excellent international schools. Two more postdocs will join us this year.

The main topics at the chair continued to be information theory and coding for multi-user systems. There was also a focus on four new topics:

- Probabilistic shaping,
- Code design with feedback and side information,
- Security and stealth,
- Non-linearities and phase noise.

These topics will continue to be studied going forward. In particular, interest in security is growing, as is interest in fiber non-linearities. The research challenges in these areas will take many years to resolve.

Five doctoral candidates completed their thesis during the time of this report. The following describes their work briefly; you will find more details on the listed pages.

First, *Mohit Thakur* (see p. 37) completed his Dr. Ing. studies in the spring of 2014. In the last two years, he improved on his earlier work on relay positioning by using network coding. He also discovered a quasi-concavity behaviour of rate bounds for additive white Gaussian noise (AWGN) networks that led to simpler relay placement algorithms. *Prof. Muriel Médard* from MIT was the 2<sup>nd</sup> examiner for Mohit's exam.

*Jie Hou* (p. 40) began studying resolvability and secrecy. He developed a new measure called *Effective Secrecy* that strengthens existing strong secrecy measures. He further developed a proof technique for resolvability and Wyner's wiretap channel that is the simplest and most powerful known. Jie's defense was in August 2014; *Prof. Young-Han Kim* from UCSD served as the 2<sup>nd</sup> examiner.

*Tobias Lutz* (p. 41) completed his work on timing codes and the trapdoor channel. For the latter problem, he found an upper bound that positively settles the question of whether feedback increases capacity. Tobias' defense was in August 2014; *Prof. Frank Kschischang* from the University of Toronto served as the 2<sup>nd</sup> examiner.

*Hassan Ghozlan* (p. 42) completed his thesis at USC in the fall of 2014. His thesis covers two topics: optical fiber channels and phase noise. For the former problem he invented and studied an interference focusing method, and for the latter he showed that oversampling can increase capacity substantially. Hassan's exam was in September 2014.

*Ronald Böhnke* (p. 44) completed his thesis at Bremen University in August 2014. His thesis considers detection algorithms for multi-input, multi-output (MIMO) channels. Channel state information (CSI) plays an important role in the research, as does receiver complexity. Ronald developed many basic insights on MIMO communication.

Most of the other members of the LNT continued their past work, with a few exceptions. The postdocs worked on the following topics:

- *Luca Barletta* (p. 58) developed capacity upper and lower bounds for phase noise channels by using Bayesian methods.
  - *Georg Böcherer* (p. 60) invented shaping and modulation schemes that perform close to Shannon's capacity limits.
  - *Shirin Saeedi Bidokhti* (p. 68) has new algorithms and theory for diamond channels and broadcast channels with feedback.
  - *Roy Timo* (p. 70) worked on distributed data compression and streaming codes. He is an expert on finite-length random coding.
  - *Mansoor Yousefi* (p. 71) continued his work on Shannon theory for optical fiber, and on nonlinear Fourier transforms.
- The “Doktoranden” worked on the following topics.
- *Rana Ali Amjad* (p. 57) developed resolvability codes by using data compression tools.
  - *Hannes Bartz* (p. 59) extended interpolation-based decoding for interleaved subspace codes.
  - *Joschi Brauchle* (p. 61) has new efficient erasure decoders for Gabidulin codes.
  - *Stefan Dierks* (p. 62) continued his work with Nokia on scheduling algorithms for massive MIMO.
  - *Marwa El Hefnawy* (p. 63) studied the spectral efficiency of Faster-than-Nyquist signaling.
  - *Onur Günlü* (p. 64) has novel key extraction methods for physical unclonable functions (PUFs).
  - *Michael Heindlmaier* (p. 65) studied algorithms for the two-way relay channel and broadcast channels with feedback.
  - *Onurcan İşcan* (p. 66) designed repeat-accumulate codes for two-way relay channels and side information channels.
  - *Andrei Nedelcu* (p. 67) designed circuits to maximize the capacity of compact antenna arrays.
  - *Markus Stinner* (p. 69) developed design principles for spatially-coupled LDPC codes.
  - *Lars Palzer* just started his research; he plans to work on the Shannon Theory for optical fiber.
- As the above list shows, the LNT has a wide range of research expertise. Keeping up-to-date on all these topics is challenging and demands maturity from the doctoral candidates. During their studies, they learn to balance several responsibilities in addition to their studies: serving as teaching assistants, as advisors for Bachelor and Master Theses, and as organizers for workshops and other events. I am proud of their accomplishments.

# Approximate Random Number Generation

Rana Ali Amjad



Die Generierung von Zufallszahlen ist derzeit ein wichtiges Forschungsthema, da es viele Anwendungen für informationstheoretische Problemstellungen gibt. Unsere Forschung konzentriert sich insbesondere auf die Untersuchung von approximativer Zufallszahlengenerierung für die Anwendung bei Sicherheitsalgorithmen und zur statistischen Verteilungsanpassung.

Several flavours of random number generation have been studied in the literature. Von Neumann [1] studied the generation of an unbiased coin from a biased coin. Knuth and Yao [2] studied the random number generation from an unbiased coin. Both works are mainly algorithmic and deal with exact random number generation only. In [3], Böcherer studied reversible approximate random number generation for the purpose of probabilistic shaping which we call *Distribution Matching*. In [4], Han and Verdú studied approximate random number generation at the output of a probabilistic channel from an information theoretic perspective. This problem is referred to as *Channel Resolvability*.

In [5], we look at both algorithmic and information theoretic aspects of

approximate random number generation. We focus on two variants: distribution matching and channel resolvability for identity channels which we refer to as resolution coding for target distributions. The two main parameters are the rate and the distortion.

We discuss both the information theoretic limits and also present practical algorithms to achieve those limits.

For distribution matching we show that the entropy of the target distribution is an upper bound on the achievable rate when we require the distortion, measured by normalized informational divergence, to approach 0.

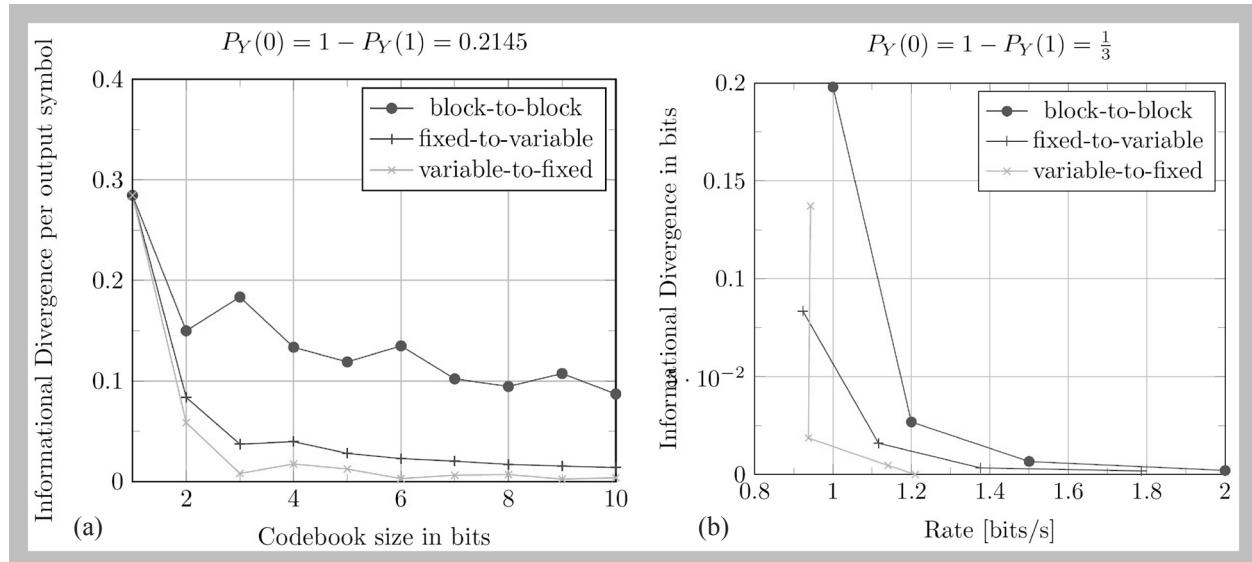
We then present fixed to variable length codes and block to block codes that asymptotically achieve the limit. The performance comparison among these two schemes and the variable to fixed length code presented in [3] is shown in Fig. (a).

In resolution coding for target distributions, we generalize the converse presented in [4] for variable length codes which states that we cannot achieve any rate lower than the entropy of the target probability distribution when we require the distortion, measured by informational di-

vergence, to approach 0. We present the optimal block to block encoder. We also present variable to fixed and fixed to variable code constructions and show that all of these constructions achieve the entropy lower bound asymptotically. A comparison among the schemes is presented in Fig. (b).

## Literature:

- [1] Neumann, J. V.: Various Techniques used in Connection with Random Digits. In: *National Bureau of Standards Applied Math Series*, 1951
- [2] Knuth, D.; Yao, A.: The Complexity of Non-uniform Random Number Generation, Academic Press, 1976
- [3] Böcherer, G.: Capacity-achieving Probabilistic Shaping for Noisy and Noiseless Channels. Ph. D. Thesis, RWTH Aachen University, 2012
- [4] Han, T. S.; Verdú, S.: Approximation Theory of Output Statistics. In: *IEEE Trans. on Inf. Theory*. 1993
- [5] Amjad, R.A.: Algorithms for Simulation of Discrete Memoryless Sources. Master's Thesis, LNT/TUM, 2013



Comparison of distribution matching techniques (a) and resolution coding techniques (b)

# Information Rate Bounds for First-Order Markov Channels With Free-Running Continuous State

Luca Barletta

Ausgehend von der Definition von *Mutual Information* erkennt man sofort, dass die durch das *Bayessche Tracking* abgeleiteten Wahrscheinlichkeiten genutzt werden können, um die Shannonsche Information zwischen Zustand und Messung eines dynamischen Systems zu ermitteln. Wenn jedoch die durch das *Bayessche Tracking* vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen nicht praktikabel sind, ist man gezwungen, die gewünschten Wahrscheinlichkeiten anzunähern. Wir schlagen obere und untere Schranken für die Informationsrate zwischen dem Zustand und der nur näherungsweise bestimmten Messung vor. Es werden Anwendungen dieser Schranken für multiplikative Kommunikationskanäle und experimentelle Ergebnisse für den zeitdiskreten *Phase Noise Channel* präsentiert.

Tracking the state of a dynamic system from noisy measurements is a classical problem in several fields of science. In the Bayesian approach, probabilities are used to model the

state evolution and the measurement given the state, and, from the model and the measurements, inference is made on the hidden evolving state. The most popular tool for Bayesian tracking of a system with continuous state is the Kalman filter. When the state transition and/or the measurement equations are non-linear and/or the noise processes are non-Gaussian, the Kalman filter is no longer optimal. Among the inference techniques proposed to face these difficult cases, particle filters have received widespread interest in the past two decades. The basic feature of the particle filter is to provide a non-parametric approximation to the exact distribution, thus making possible to accurately infer multi-modal distributions.

We focused on discrete-time systems with continuous state. The state process is a first order Markov process, the measurement process is memoryless given the state, and the distributions of the Markov state process and of the measurement noise are known. A prominent example of a communication channel with free-running continuous hidden state is the multiplicative phase noise channel. To fit the phase noise affecting the local oscillator from the

real world, the rich ARMA (AutoRegressive Moving Average) model is often considered. The ARMA model fits many cases of practical interest. Working out the information rate transferred through a channel affected by a general multiplicative ARMA phase noise process is a challenging problem, because

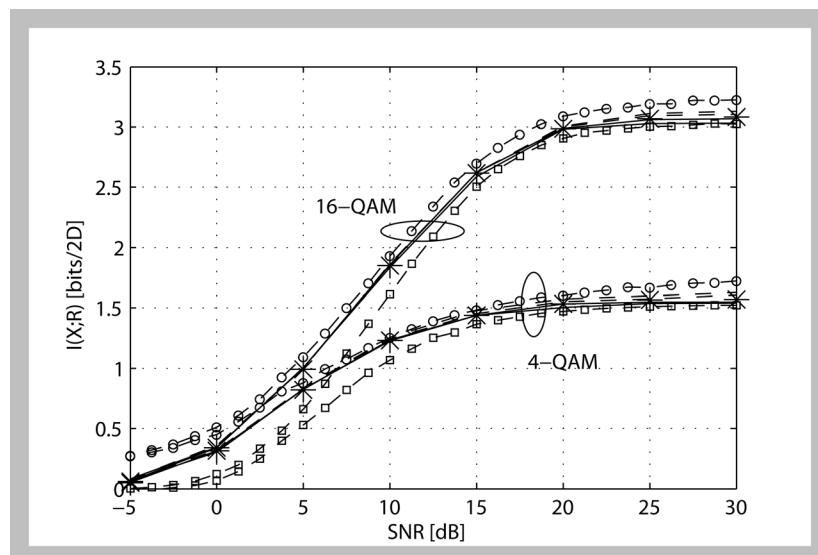
- the state space is not finite and it is multidimensional, therefore it cannot be approached by trellis-based techniques based on quantization of the state space as those often used with Wiener phase noise, because the number of states of the trellis would be enormous;
- the observation is a nonlinear function of the state, therefore the linearized Kalman filter can be far from optimum.

In this work, upper and lower bounds to the information rate between the measurement and the hidden state are presented. The upper bound is based on approximate Bayesian tracking, while the lower bound is obtained by Bayesian smoothing. From these bounds we derived upper and lower bounds to the information rate transferred between the input and the output of communication channels with free-running ARMA continuous hidden state.

We plan to extend these techniques to continuous-time phase noise channels.

## Literature:

- [1] Barletta, L., Magarini, M., Pecorino, S., Spalvieri, A.: Upper and Lower Bounds to the Information Rate Transferred through First-Order Markov Channels with Free-Running Continuous State. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-60, pp. 3834-3844, 2014
- [2] Barletta, L., Magarini, M., Pecorino, S., Spalvieri, A.: Tight Upper and Lower Bounds to the Information Rate of the Phase Noise Channel. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 2284-2288, July 2013



Information rates on an ARMA Phase noise channel. Dashed and solid line: New bounds. Asterisks: Numerical approximation. Circles and squares: Previous results [2].

# Efficient Interpolation-based Decoding of Interleaved Subspace and Gabidulin Codes

Hannes Bartz



Subspace-Codes sind verbreitete Codes zur Fehlerkorrektur in nicht-kohärenten netzkodierten Netzwerken. Die Netzwerktopologie sowie die Netzkodierkoeffizienten müssen hierbei sowohl am Sender als auch am Empfänger nicht bekannt sein. Eine Reed-Solomon-artige Codekonstruktion und effiziente Decodieralgorithmen wurden von Kötter und Kschischang vorgestellt [1]. Ein weiterer Ansatz ist die Anwendung von „lifted“ Maximum Rank Distance (MRD) Codes. Jedes Codewort eines MRD-Codes kann als eine Matrix über einen Körper dargestellt werden. Ein interleaved (verschachtelter) MRD-Code besteht aus einer parallelen Aneinanderreihung von  $s$  Codematrizen. Diese Codes können über die halbe Minimaldistanz decodiert werden, wodurch sich mehrere Fehler korrigieren lassen [2]. Für diese Art von Codes haben wir rechen- sowie speicher-effiziente Interpolations- und Divisionsalgorithmen entwickelt, welche die Decodierkomplexität deutlich von  $O(s^3n^2)$  auf  $O(s^2n^2)$  senken.

Subspace codes have been proposed as a tool for non-coherent networks, i.e., the network topology and the linear combinations performed by the intermediate nodes are not known by the transmitter and the receiver [1]. Subspace codes with efficient decoding algorithms include a *Reed-Solomon-like* code construction by Kötter and Kschischang [1] (KK codes) and the lifted *maximum rank distance* (MRD) codes by Silva, Kötter and Kschischang. For decoding lifted MRD codes, the linear operations performed by the network must be reversed before starting the decoding process. This step is called *reduction* and allows to apply known error-erasure decoding schemes for MRD codes to lifted MRD codes, but with the additional computational cost of the reduction.

An *interleaved* MRD code consists of  $s$  parallel matrices, which are

codewords of  $s$  MRD codes. The benefit of using lifted *interleaved* MRD codes in network coding is a reduced overhead for large interleaving orders and a performance gain since probabilistic unique decoding and list decoding beyond half the minimum rank distance is possible [2].

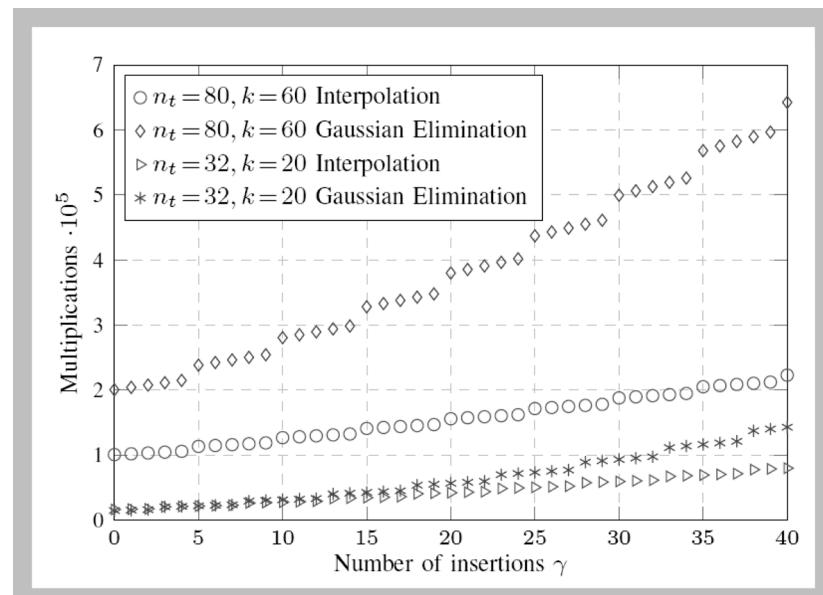
We proposed an interpolation-based decoding scheme for *s-interleaved KK codes* without the need for reduction at the receiver. The scheme interpolates a set of linearized polynomials and extracts the information symbols using a root-finding algorithm. This approach can be applied as a list decoder (decoder returns a list containing the codeword) or as a probabilistic unique decoder (decoder returns a unique solution with very high probability). Our main contribution is that we show how the desired multivariate linearized polynomials can be constructed efficiently using an adapted version of Kötter interpolation for linearized polynomials. This reduces the complexity of the interpolation step from  $O(s^3n^2)$  to  $O(s^2n^2)$  where  $n$  is the length of the code.

Further, we proposed a computationally- and memory-efficient root-

finding algorithm for the unique decoder which reconstructs the message polynomials in  $O(s^2k^2)$  operations, where  $k$  is the number of data symbols. This reduces the computational complexity for the root-finding step compared to  $O(s^2k^2)$  for the recursive Gaussian elimination from [2]. Both proposed algorithms can also efficiently solve the interpolation problem and root-finding system for the interleaved Gabidulin codes in [2]. The computational complexity of our algorithm vs. Gaussian Elimination is illustrated in the figure below.

## Literature:

- [1] Kötter, R.; Kschischang, F. R.: Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding, In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, July 2008
- [2] Wachter-Zeh, A.; Zeh, A.: List and Unique Error-Erasure Decoding of Interleaved Gabidulin Codes with Interpolation Techniques. *Accepted for Des. Codes Cryptogr.*, 2014



Multiplications vs. the number of errors for interleaving order  $s = 4$

# Removing the 1.53 dB Shaping Gap in Practical Communication Systems

Georg Böcherer

implementation in [5] of Gallager's scheme uses iterative demapping and decoding.

To avoid the increased decoding complexity, we borrow the concept of reverse concatenation, which was suggested for constrained coding for data storage in [6]. Data bits are transformed by a distribution matcher into a sequence of non-uniformly distributed symbols, which are passed through a systematic encoder. This preserves the distribution of the sequence and generates additional uniformly distributed redundancy bits. Symbols and redundancy bits are mapped to signal points of a size  $2^m$  amplitude-shift keying (ASK) constellation, see Fig. (a). First results are displayed in Fig. (b). The optimization of our scheme has triggered several research activities at the LNT.

In [7], R. A. Amjad and G. Böcherer present an optimal fixed-to-variable length distribution matcher. S. Baur developed an arithmetic distribution matcher in his research internship. P. Schulte currently writes his master thesis on fixed-to-fixed length distribution matching.

In [8], we present a new achievable rate for binary decoding without iterations between the demapper and decoder. Numerical results show that bit-metric decoding can operate within 0.005 dB of the AWGN capacity.

The mapper input and the demapper output form  $m$  parallel binary input channels. F. Steiner currently

writes his master thesis on designing codes taking the differences into account.

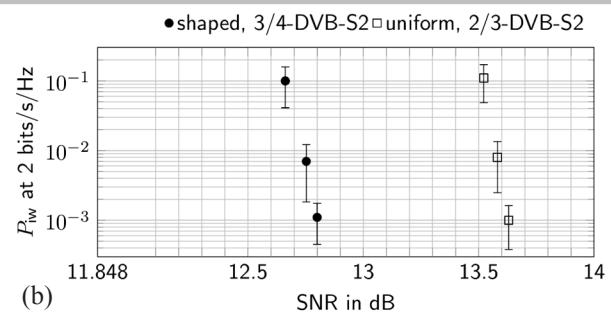
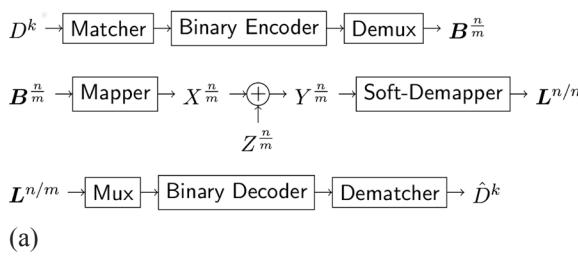
## Literature:

- [1] Gallager, R. G.: Information Theory and Reliable Communication. John Wiley & Sons, Inc., 1968
- [2] Forney, G. D.: Trellis Shaping, In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, Feb 1992
- [3] Khandani, A.K.; Kabal, P.: Shaping Multidimensional Signal Spaces. I. Optimum Shaping, Shell Mapping. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 39, no. 6, pp. 1799-1808, 1993
- [4] Fischer, T.; Huber, J.; Wachsmann, U.: On the Combination of Multi-level Coding and Signal Shaping. In: *Proc. Int. ITG Conf. Source Channel Cod.*, 1998
- [5] Raphaeli, D.; Gurevitz, A.: Constellation Shaping for Pragmatic Turbo-coded Modulation with High Spectral Efficiency. In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 3, pp. 341-345, 2004
- [6] van Wijngaarden, A.J.; Immink, A.S.: Maximum Runlength-limited Codes with Error Control Capabilities. In: *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Apr. 2001
- [7] Amjad, R.A.; Böcherer, G.: Fixed-to-Variable Length Distribution Matching. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), pp. 1511-1515, 2013
- [8] Böcherer, G.: Probabilistic Signal Shaping for Bit-metric Decoding. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), pp. 431-435, 2014

In heutigen Kommunikationssystemen werden gleichverteilte Signale verwendet. Dies erhöht die Sendeleistung um bis zu 1.53 dB. Um ein System ohne diesen Leistungsverlust zu ermöglichen, untersuchen wir bitweise Decodierung, Algorithmen für die Verteilungsanpassung sowie das Design von geeigneten binären Codes.

For reliable communication at maximum rate over the ubiquitous additive white Gaussian noise (AWGN) channel, information theory suggests to use non-uniform input distributions. In practice however, uniform distributions are used, which increases the power consumption by up to 1.53 dB, the so-called shaping gap.

In the literature several approaches have been taken to remove the shaping gap. Gallager suggested to use a channel encoder followed by a many-to-one mapping [1, p. 208]. Forney proposed trellis shaping [2] and Khandani and Kabal suggested shell mapping [3]. While these approaches indeed enable the use of non-uniform input: "Unfortunately, the problem of finding decoding algorithms is not so simple" [1, p. 209]. For example, the implementation of trellis shaping in [4] uses multi-stage decoding and the



(a) Reverse concatenation for a  $2^m$  ASK constellation. The transmitter outputs length  $m$  binary strings, which are mapped to signal points. The soft-demapper outputs  $m$  binary soft-information. (b) End-to-end block error probabilities versus SNR for 8ASK. The asymptotic shaping gap at 2 bits/s/Hz is 0.77 dB, which is completely removed by our scheme.

# Low-Order Folded Reed-Solomon Codes

Joschi Brauchle



Der Decodierradius eines Codes im Zusammenspiel mit einem Decoder bezeichnet die Anzahl an korrigierbaren Symbolfehlern in Relation zur Codewortlänge. Traditionell galt für Reed–Solomon (RS) Codes die halbe Mindestdistanz als maximaler, mit vertretbarem Aufwand erreichbarer Radius. Mit den Arbeiten von Sudan aus dem Jahr 1997 und Guruswami–Sudan 1999 gelang der Durchbruch bei der Decodierung von RS-Codes jenseits der halben Mindestdistanz. Parvaresh–Vardy (PV) erreichten 2005 mit neuen Codes die Singleton-Schranke asymptotisch, ebenso Guruswami–Rudra [1] 2006 mit gefalteten RS-Codes (FRS). Unsere aktuelle Arbeit [2] leitet eine allgemeine Formel für den Decodierradius von RS-, PV- und FRS- Codes her und zeigt damit, dass diese Codes und die verfügbaren Decoder nicht optimal sind. Durch eine Verbesserung dieser Struktur entstehen sog. „gefaltete RS-Codes mit niedriger Ordnung“ (LOFRS), die bei gleicher Rate einen größeren Radius erreichen können.

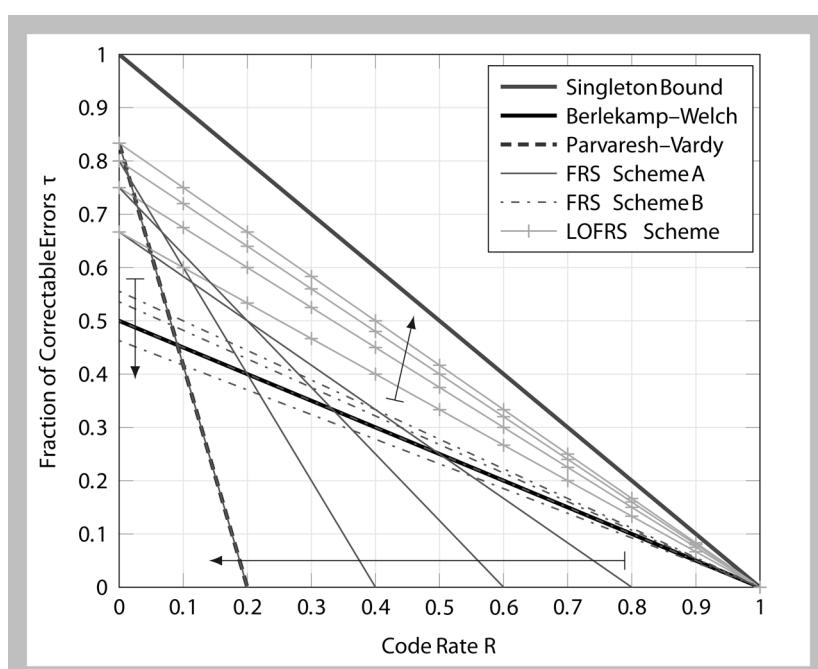
The decoding radius of a code and corresponding decoder denotes the fraction of correctable errors relative to the code length. For more than thirty years, decoding of Reed–Solomon (RS) codes was possible only up to half their minimum distance with polynomial complexity. The break-through papers of Sudan in 1997 and Guruswami–Sudan in 1999 allowed decoding RS codes beyond this radius using univariate interpolation-based list decoding. By parting ways with RS codes, Parvaresh–Vardy (PV) introduced new codes in 2005 and Guruswami–Rudra in 2006 invented folded RS codes (FRS) [1], which are list-decodable using multivariate interpolation-based decoders up to the Singleton bound asymptotically. A low complexity linear-algebraic decoding algorithm for FRS codes was introduced by Vadhan in 2013.

In our current work [2] a general formula for the decoding radius of linear-algebraic multi-variate interpolation-based decoding algorithms for RS, PV and FRS codes based on the code construction and decoder parameters is derived. Using this formula, we show that existing FRS decoders can not achieve the best possible decoding radius for all codes rates. Based on this result, an improved construction called low-order folded RS codes (LOFRS) is motivated. As with FRS codes, this new construction is obtained by puncturing PV codes. The proposed codes allow linear-algebraic decoding for all code rates and avoid the structural loss in decoding radius of the original FRS design. By optimally choosing the decoder parameters the maximum possible fraction of correctable errors is achievable by LOFRS codes and the Singleton bound will be reached asymptotically. A comparison of the decoding radius of RS, PV, FRS and LOFRS codes and decoders is depicted in the figure below.

As part of future work, the list-size of the linear-algebraic LOFRS decoder shall be explicitly computed and reduction strategies will be evaluated. In a second step, the general formula for the decoding radius of multivariate interpolation-based decoding algorithms shall be extended beyond linear-algebraic methods.

Literature:

- [1] Guruswami, V.; Rudra, A.: Explicit Codes Achieving List Decoding Capacity: Error-correction with Optimal Redundancy. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 1, Jan. 2008
- [2] Brauchle, J.: On the Error-Correcting Radius of Folded Reed–Solomon Code Designs. In: *Proc. of the 4th International Castle Meeting on Coding Theory and Applications (4ICMCTA)*, Sept. 2014



Decoding radius versus code rate of  $\{3, \dots, m+1\}$ -variate (increasing along arrows) linear-algebraic interpolation-based decoding of order  $m=5$ -PV codes,  $m=5$ -FRS codes with decoders A and B, and proposed  $m=5$ -LOFRS codes.

## The Benefit of Cooperation in Massive MIMO Local Area Scenarios

Stefan Dierks

Massive MIMO, die Nutzung einer großen Menge von Antennen an den Basisstationen, ist eine Möglichkeit zur Verbesserung der spektralen Effizienz. Wir vergleichen eine zentrale massive MIMO-Basisstation mit vier verteilten Network MIMO Basisstationen, über den Backhaul zu einer virtuellen Basisstation zusammenge schlossen. Es zeigt sich, dass mit ver teilten Basisstationen höhere Datenraten möglich sind. Ein Kompromiss zwischen Kosten und Durchsatz ist die Bereitstellung von zwei- bis vier mal so vielen Antennen an den Basisstationen wie Nutzerantennen.

The large number of users in wireless networks and an increasing demand for high throughput require higher spectral efficiency. An emerging idea to increase system performance in the presence of interference is massive MIMO where the number of transmit antennas is very large. Here no backhaul is needed if all antennas are located at one site. We compare the performance of a single centralized massive MIMO

deployment versus network MIMO, where the antennas are distributed but cooperation is still obtained through a sufficient backhaul.

Many other works consider wide area outdoor massive MIMO scenarios. However, most mobile traffic is generated by indoor users [1]. We consider a two stripe building defined by the 3GPP [2]. The single location massive MIMO base station is placed in the middle of the building, while for the network MIMO deployment four arrays are placed in the corridors. To treat the distributed base stations as a single base station a perfect backhaul and a total sum power constraint are assumed. We use zero-forcing beamforming (ZFBF) [3] as the transmission scheme for both deployments.

To determine the benefit of distributed antennas with a sufficient backhaul over centralized antennas and to assess the performance gain with additional transmit antennas, we fix the number of users and compare the performance with ZFBF for different numbers of total transmit antennas. We assume perfect channel state information (CSI) of all links being available when determining the precoder.

In the figure the cumulative distribution functions (CDF) of the

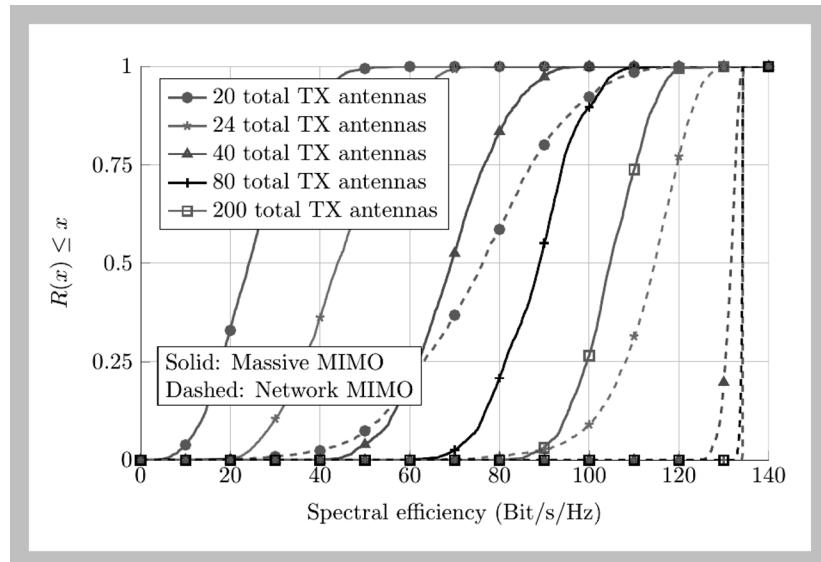
spectral efficiencies with ZFBF for the two deployments and 20 users with single antennas are shown with 20, 24, 40, 80 and 200 total transmit antennas. The solid curves correspond to the massive MIMO deployment and the dashed curves to the network MIMO deployment.

For each number of total transmit antennas the network MIMO deployment clearly outperforms the massive MIMO deployment. The poor performance of both deployments for the fully loaded MIMO system with 20 transmit antennas can be improved significantly by adding only few (4) antennas. Alternatively, scheduling can improve the performance for fully, or close to fully, loaded MIMO systems. The network MIMO deployment achieves the highest possible 256-QAM spectral efficiency for 80 total transmit antennas, while the massive MIMO deployment does not achieve this even for 200 total transmit antennas. The worse performance of the centralized massive MIMO deployment is partly due to the walls that the signals have to penetrate.

With a distributed deployment and sufficient backhaul, considerable hardware savings are possible as fewer antennas are needed to achieve the same spectral efficiency. This might be intuitively obvious, but the performance difference was larger than expected. Providing around two to four times more transmit antennas than receive antennas gives a good trade-off between hardware complexity and performance gain.

### Literature:

- [1] Zhang, J.; de la Roche, G.: Femtocells – Technologies and Deployment. Wiley, 2013
- [2] 3GPP: TR36.814 - Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects. Tech. Rep. v9.0.0, March 2010
- [3] Wiesel, A.; Eldar, Y. C.; Shamai, S.: Zero-forcing Precoding and Generalized Inverses. In: *IEEE Trans. Signal Processing*, Sept. 2008



Spectral efficiencies in a two stripe building for 20 user equipments and perfect CSI

# Efficiency of Faster-Than-Nyquist Signaling with Spectrum Sharing

Marwa El Hefnawy



Der Beitrag behandelt *Faster-than-Nyquist* (FTN) Signalisierung unter der Nebenbedingung von Interferenzen durch benachbarte Bänder. Für einen Multi-Access-Kanal führen Impulse der Form  $\text{sinc}(x)/x$  zur maximalen spektralen Effizienz. Wir vergleichen die spektralen Effizienzen von *Root-Raised-Cosine-Impulsen* (RRC) mit verschiedenen Mittelfrequenzen in benachbarten Bändern.

Bei niedrigem SNR bringt FTN weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung. Bei hohem SNR sollte man  $B$  so groß wie möglich wählen, damit möglichst keine Interferenzen entstehen.

Shannon [1] showed the capacity of the AWGN channel is

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \text{ bits/s}$$

where  $W$  is the channel bandwidth,  $P$  is the average transmit power, and  $N_0$  is the noise power spectral density.

Mazo [2] introduced *Faster-than-Nyquist* (FTN) signaling where sinc pulses are modulated faster than the Nyquist rate. Mazo showed that increasing the modulation rate by up to 25% beyond the Nyquist rate does not affect the minimum Euclidean distance between sequences of binary antipodal signals. The resulting intersymbol interference (ISI) must be eliminated at the receiver.

In practice, due to the slow time decay of *sinc pulses*, one uses *root raised cosine* (RRC) pulses. For independent and identically distributed symbols and a 3-dB power bandwidth of RRC pulses, Anderson, Rusek, and Öwall show in [3] that FTN signaling achieves a higher spectral efficiency than

$$\eta = \log_2 \left( 1 + \frac{P}{WN_0} \right) \text{ bits/s/Hz}$$

that is achieved by sinc pulses. However, in this comparison the interference of spectral sharing is not taken into account.

We revisit the comparison and consider bandwidth as a shared re-

source. We compute the spectral efficiency  $\eta$  by normalizing the sum rate of  $K$  users by the overall bandwidth of  $KB$  Hz, where  $B$  is the bandwidth of each user.

We consider the cellular uplink, i.e., we consider a  $K$  user multi-access channel (MAC) where signals are placed at the center frequencies  $kB$ ,  $k=0,\pm 1,\pm 2,\dots,\pm(K-1)/2$ , where  $K$  is an odd number and the spectrum of user  $k$  is  $H(f_k)$ . We define the total bandwidth and power respectively as

$$B_{\text{tot}} = A + (K - 1)B$$

$$P_{\text{tot}} = \sum_{-(K-1)/2}^{(K-1)/2} P_k$$

where  $A$  is the absolute bandwidth of the spectrum  $H(f_k)$  and  $P_k$  is the transmit power of user  $k$ .

To show that sinc pulses maximize the spectral efficiency, an upper bound of the spectral efficiency is computed as

$$\eta \leq \log_2 \left( 1 + \frac{P_{\text{tot}}}{B_{\text{tot}} N_0} \right).$$

Sinc pulses satisfy this inequality with equality; the technical details are given in [4].

For simplicity, we use Gaussian signaling, we treat interference as noise, and we set  $H(f_k) = H(f)$  for all  $k$ , where  $H(f)$  is an RRC spectrum with absolute bandwidth  $A = (1 + \alpha)W$  where  $\alpha$  is the roll-off factor,  $P_k = P \forall k$ , and there is at most one in-

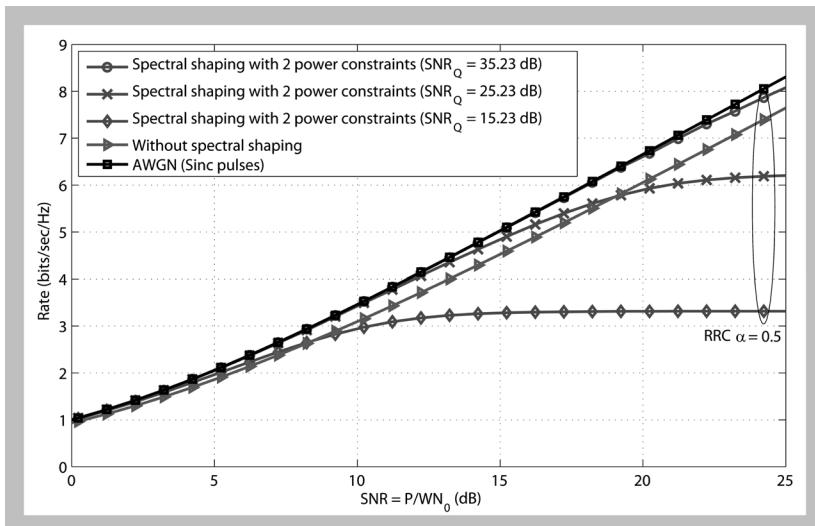
terferer at each frequency, i.e.,  $A/2 \leq B \leq A$ . The spectral efficiencies optimized over  $B$  satisfying

$(1 + \alpha)W/2 \leq B \leq (1 + \alpha)W$  are shown in the figure below for RRC pulses with  $\alpha = 0.5$ .

At low SNR, FTN neither improves nor degrades the spectral efficiency and at high SNR, it is best to choose  $B$  as large as possible so that there is no interference.

## Literature:

- [1] Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication. In: *Bell System Technical Journal*, vol. 27, July 1948
- [2] Mazo, J.: Faster than Nyquist Signaling. In: *Bell System Technical Journal*, vol. 54, no. 8, Oct. 1975
- [3] Anderson, J.; Rusek, F.; Öwall, V.: Faster-than-Nyquist Signaling. In: *Proc. IEEE*, vol. 101, No. 8, pp. 1817–1830, March 2013
- [4] El Hefnawy, M.; Kramer, G.: Impact of Spectrum Sharing on the Efficiency of Faster-than-Nyquist signaling. In: *Proc. IEEE Wireless Comm.& Networking Conf.*, Apr. 2014



Spectral efficiencies for RRC pulse with roll-off factor  $\alpha = 0.5$  with transmit power per Hertz normalized to  $P/W$  Watts/Hz.

## Reliability and Security Analyses of Secret Key Generation via Physical Unclonable Functions

Onur Günlü

solutions for key generation and storage schemes.

ICs that are used as a challenge-response mapping depending on their particular physical variations are called *Physical Unclonable Functions* (PUFs) [2]. PUFs are cheap (e.g., there is no key storage requirement) and safe (e.g., the key is regenerated on demand so that resilience against side-channel attacks is increased) alternatives to other secret key generation and storage techniques.

One important PUF type is based on Ring Oscillators (ROs), i.e., inverter-logic circuits oscillating with particular frequencies. Given that oscillators are identically laid out, the differences between RO frequencies are caused by the manufacturing variations and jitter, both of which have random and deterministic components.

The secret key generated from RO outputs should be unique (different ROs must generate different secret keys), reliable (the same ROs need to re-generate the same secret key every time it is demanded), unpredictable (the adversary cannot recover the secret key, given other secret keys or a part of the relevant key.). Therefore, a reliable random bit sequence needs to be extracted from RO PUFs. This is possible if the random manufacturing variations are separated from deterministic variations, and if the jitter can be mitigated during secret key re-generation.

We proposed to use a Discrete Cosine Transform (DCT) to de-correlate the neighboring RO outputs, to localize and eliminate the effects of environmental variations, and to increase randomness in the generated bit sequence. In addition, fast and lightweight hardware implementation of the DCT provides an efficient secret key generation algorithm.

DCT based RO PUFs apply the DCT to an array of RO outputs, and then the useful DCT coefficients and the additive noise are modeled to follow some particular distributions. The mean number of errors  $D(L)$  per extracted bit in each DCT coefficient due to noise is calculated for different bit lengths  $L$ , used for quantization of the DCT coefficient. The figure shows the calculated mean numbers of errors per extracted bit for an array of 32x16 ROs.

For a target bit error probability per extracted bit  $p_b$ , the DCT coefficients are quantized with  $L_i$  bits, where  $D(L_i) \approx p_b$ . If the quantization steps have equal probabilities and if the error correction code parameters are selected properly, then uniqueness, reliability and unpredictability of the PUF outputs are increased substantially as compared to existing designs.

We will continue to analyze the effects of environmental variations on the generated bit sequence and the information theoretical bounds on the number of extracted bits from an RO array. Hardware-efficient design of the system and tests with classic secret key algorithms will follow.

### Literature:

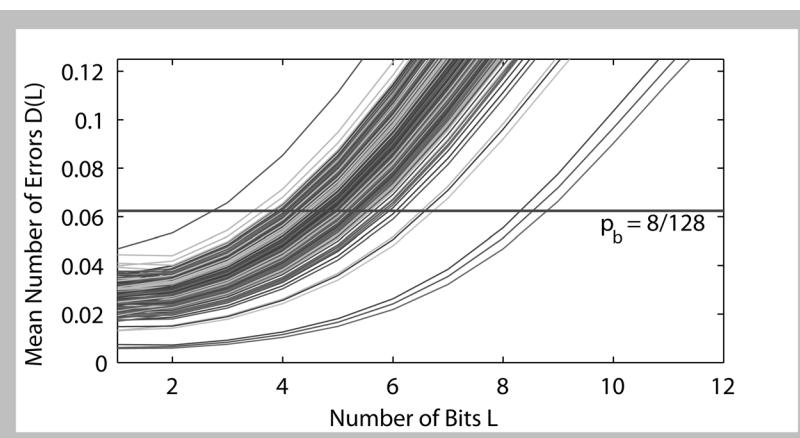
- [1] Suh, G. E.; Devadas, S.: Physical Unclonable Functions for Device Authentication and Secret Key Generation. In: *Proc. ACM/IEEE Des. Aut. Conf.*, San Diego, USA, June 2007
- [2] Gassend, B.: Physical Random Functions. *Master Thesis*, MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, Jan. 2003

*Physical Unclonable Functions* (PUFs) gelten als sichere und preiswerte Alternativen zu anderen geheimen Schlüssel-Erzeugungs-Algorithmen. Wir haben eine diskrete Cosinus-Transformation als Nachbearbeitungsschritt vorgeschlagen, um die Zuverlässigkeit der PUF-Ausgabe zu erhöhen.

With the increase in data transfer and storage capability of electronic systems, our dependence on Integrated Circuits (ICs) has increased. Thus, the security of sensitive and private information on ICs has become an important problem.

One way to provide cryptographic security is to generate and store keys. The classic key generation schemes that store the key in Non-Volatile Memory (NVM) are generally costly and untrustworthy [1]. Thus, device-dependent key generation schemes are proposed.

Due to the aggressive scaling of technology, the uncontrollable variations at the circuit level have more effect on the circuit output. Taking advantage of such uncontrollable, unclonable and random manufacturing variations can provide good



Mean number of errors per bit

# Feedback Coding for Broadcast Erasure Channels with Memory

Michael Heindlmaier

Die Kapazitätsregion eines Mehrbenutzer-Auslöschungskanals ohne Gedächtnis mit Rückkopplung wurde in den letzten Jahren bestimmt, zuerst für den Fall mit zwei Empfängern [1], danach für den allgemeinen Fall [2,3]. Hier hilft die Rückkopplung, um die Ratenregion gegenüber dem Fall ohne Rückkopplung zu erhöhen.

Da Auslöschungen in praktischen Szenarien oft gebündelt auftreten und damit zeitlich korreliert sind, wurde der Fall gedächtnisbehafteter Auslöschungskanäle analysiert. Hier zeigt sich, dass die Algorithmen, die im Fall ohne Gedächtnis optimal sind, nicht immer gut funktionieren. Daher wurden weitere heuristische Algorithmen vorgeschlagen, die das Gedächtnis des Kanals berücksichtigen und ausnutzen können. Die Kapazitätsregion für Kanäle mit Gedächtnis konnte für den Fall mit zwei Empfängern bestimmt werden. Die heuristischen Algorithmen sind zwar nicht kapazitätserreichend, können aber einen Großteil der möglichen Gewinne abschöpfen.

The memoryless broadcast erasure channel (BEC) with feedback (FB) is one of the examples in multi-user communication systems where the capacity region is known and feedback increases the capacity region. For channels without memory, the result was found in [1] for the two-receiver case and was extended to the general  $K$ -receiver case in [2,3].

For the two-receiver case with independent erasure probabilities  $\varepsilon_1$  and  $\varepsilon_2$ , the capacity region  $C_f$  consists of all rate pairs  $(R_1, R_2)$  that satisfy the following two inequalities:

$$R_1/(1 - \varepsilon_1) + R_2/(1 - \varepsilon_1\varepsilon_2) \leq 1,$$

$$R_1/(1 - \varepsilon_1\varepsilon_2) + R_2/(1 - \varepsilon_2) \leq 1.$$

Rates are measured in packets per time slot. This region is strictly larger than the capacity region for the memoryless BEC without FB, denoted  $C_{nofb}$ . The latter region is one of the few examples for broadcast channels

where time sharing between different users is optimal. Both rate regions are shown in the figure below.

In many practical scenarios erasures occur in bursts. If no feedback is present, interleaving can decorrelate the erasures and erasure correcting codes designed for memoryless channels can be used. With feedback however, more sophisticated methods are possible or simpler coding schemes suffice.

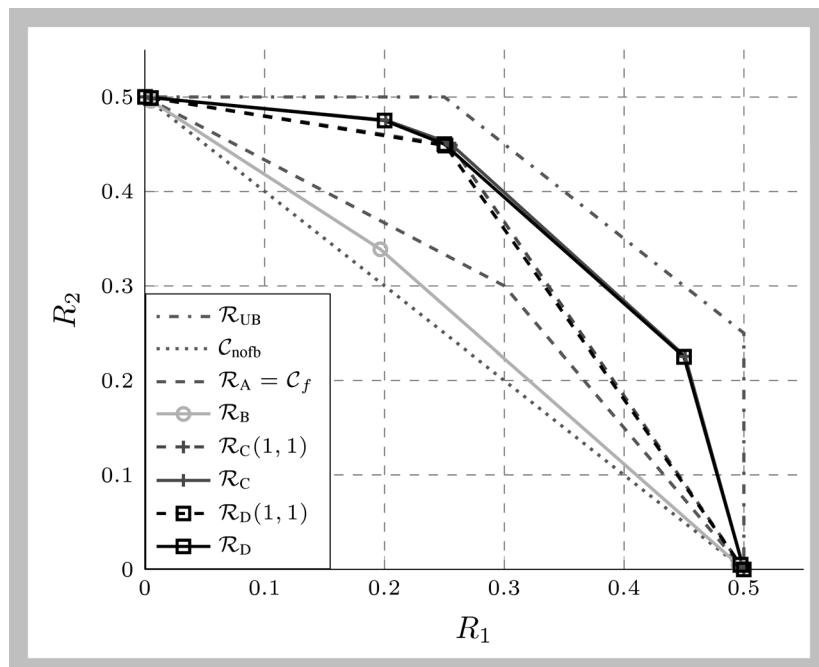
The algorithms that can achieve capacity in the memoryless case are called Algorithm A and B with corresponding rate regions. We analyzed Algorithms A and B for the case when erasures are bursty. To improve performance, we introduced two heuristic algorithms (called C and D) that can outperform the original algorithms. All algorithms are lightweight and require only a small additional buffer at both receivers.

None of the proposed algorithms is capacity-achieving for the case with memory and significant gains can be exploited if memory is present. Recently, the capacity region was found for the two-receiver case

and channel states that are causally known at the transmitter. Results show that the heuristic schemes can achieve most of the possible gains.

## Literature:

- [1] Georgiadis, L.; Tassiulas, L.: Broadcast Erasure Channel with Feedback - Capacity and Algorithms. In: *Proc. Workshop on Network Coding (Netcod'09)*, Lausanne, Switzerland, June 2009
- [2] Wang, C.-C.: On the Capacity of 1-to- $K$  Broadcast Packet Erasure Channels with Channel Output Feedback. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 2, pp. 931–956, Feb. 2012
- [3] Gatzianas, M.; Georgiadis, L.; Tassiulas, L.: Multiuser Broadcast Erasure Channel with Feedback – Capacity and Algorithms. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 9, pp. 5779–5804, Sept. 2013



Rate regions for a broadcast erasure channel with memory where memory evolves according to a Gilbert-Elliott channel.



## Coding for the Broadcast Channel with Side Information

Onurcan İşcan

Durch Seiteninformation kann der Decodierprozess in einem Kommunikationssystem verbessert werden. Wird zum Beispiel ein Paket wegen nicht erfolgreicher Decodierung erneut gesendet, so kann der Decoder das zuvor gesendete Signal als Seiteninformation nutzen. Dies ermöglicht dem Empfänger, die Nachricht unter schlechteren Kanalbedingungen oder mit weniger komplexen Rechnungen zu decodieren. Allerdings müssen dazu die verwendeten Kanalcodes angepasst werden.

In diesem Beitrag zeigen wir, wie die Repeat-Accumulate-Codes für die Decodierung mit Seiteninformation benutzt werden können.

In a communication system, the presence of side information at the receiver can enhance the decoding process. For instance, if a message is retransmitted due to an unsuccessful decoding attempt, the receiver can use the previously received signal as side information during the process-

ing of the retransmitted signal. By correct usage of the side information the decoder can extract the message under worse channel conditions or with less complex operations than before. However, the used codes should be designed by considering the side information.

In [1] communication in the presence of side information is formulated for a broadcast setup and the following condition for the achievable rate  $R$  is given:

$$R \cdot H(U|U_i) < C_i,$$

where  $H(U|U_i)$  is the entropy of the transmitted message  $U$  conditioned on the side information  $U_i$  at the receiver and  $C_i$  is the point-to-point channel capacity between the transmitter and receiver  $i$ . This condition is depicted in the figure with the solid line starting at the origin. Accordingly, as long as the parameters for all receivers lie in the region above this line, the rate  $R$  is achievable. However, [1] does not consider practical schemes and discusses only the theoretical decoder.

For evaluating the performance of practical codes under the same scenario, we formulate the problem as a coding problem with non-systematic

channel codes, where the parity bits are transmitted over the ‘physical’ channel and the systematic bits are transmitted over a ‘virtual’ correlation channel. This allows us to analyse the system as a channel coding problem with multiple channels and to use standard analysis techniques like density evolution.

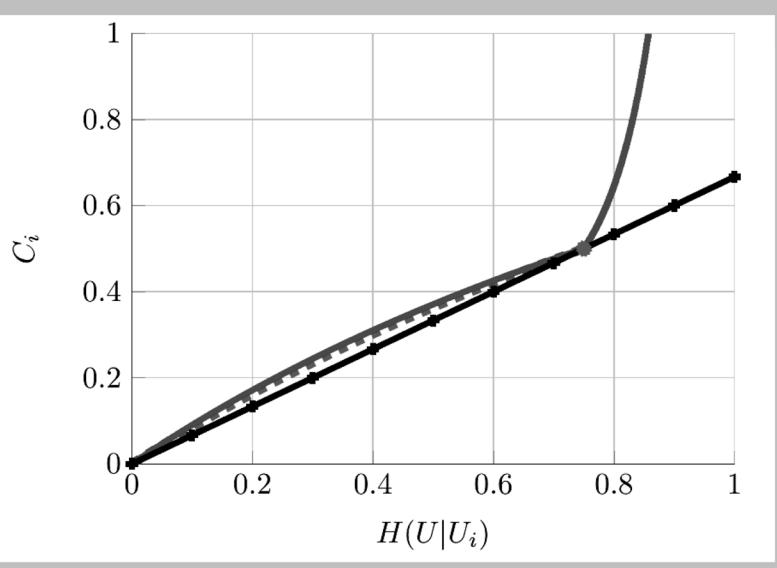
For the sake of simplicity, we assume that both the physical channel and the correlation channel are binary erasure channels and use irregular repeat accumulate codes as channel codes. In this case,  $C_i$  and  $H(U|U_i)$  can be formulated easily in terms of erasure probabilities and the density evolution equations can be written in closed form expressions. By varying the erasure probabilities, we can compute the convergence region of a given code and compare it with the theoretical findings of [1].

The figure depicts the numerically obtained convergence region of a rate  $2/3$  repeat accumulate code by the solid curve without markers. As the figure shows, the convergence region is smaller than the theoretically achievable region. However, by carefully choosing the design parameters of the channel code, a large area of the theoretical region can be covered. Moreover, it is also possible to find closed form expressions for the bounds of the convergence region, if repeat accumulate codes are considered. The dashed line in the figure depicts this bound.

Similar analyses can be made for Accumulate-Repeat-Accumulate (ARA) codes and for other channels as well. Our results show that for AWGN channels one gets similar regions as for the BEC (*Binary Erasure Channel*) case. However, obtaining closed form expressions in such channels is more challenging.

### Literature:

- [1] Tuncel, E.: Slepian-wolf Coding over Broadcast Channels. In: *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1469–1482, Apr. 2006



Convergence region of a repeat accumulate code of rate  $2/3$  and the corresponding theoretical limit

# Capacity Optimization for MIMO Communications

Andrei Stefan Nedelcu



Bei Compact MIMO Antenna Arrays werden sehr viele Antennenelemente auf engstem Raum zusammen gepackt. Um bereits beim Design die Besonderheiten solcher Systeme berücksichtigen zu können, muss deren elektromagnetisches und elektrisches Verhalten möglichst genau ermittelt werden. Unsere Forschungsarbeiten zeigen, dass durch geeignete Modellierung signifikante Kapazitätsgewinne möglich sind.

Communications using multiple antennas promise a large spectral efficiency and robustness compared to classical single antenna communications. Increasing throughput demands led to proposals of employing hundreds of antenna elements on at least one end of the communication link. However, with a limited aperture the antennas would be packed closer and closer together. These conditions make antennas influence each other more and affect both their impedance, far field radiation patterns and the phenomena that take place in the circuits that connect them to the digital back end. Early work [1] considered only the changes in impedance due to mutual coupling altering currents flowing through the antennas and attempted to find better matching circuits that ensure better power transfer to the following receiver stages. Later, when also considering the low noise amplifier stages it becomes apparent that different noise sources in the receiver have different correlation properties in the presence of coupled antennas [2][3].

The metric that describes how much information a system could transfer reliably over a physical channel from a transmitter to a receiver is the channel capacity. Therefore, the design of a MIMO radio front end should be translated, of course with the limitations imposed by circuit and antenna design, into the framework of information theoretic analysis.

We attempt to determine the optimal circuit construction that maximises the information transfer at different operating points of the communication link, when considering the ratio of the transmitted power and the noise generated and captured by the receiver.

The optimal strategy at the receiver seems to match the antennas to the amplifiers in such a way that the amplifiers perceive a uncoupled antenna array which presents an impedance that is optimal for the noise power generated by each amplifier individually. This implies that the noise that previously had different correlation properties is now decorrelated.

Despite the fact that the considered metric that we optimize does not have a single maximizing point with respect to all the parameters of our design, a gradient based algorithm converges in general to an optimal solution.

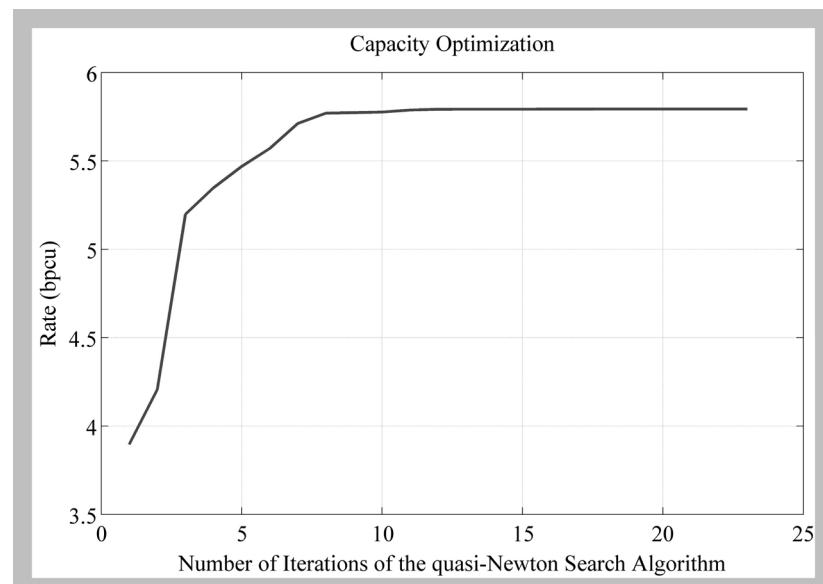
The figure below shows the evolution of a quasi-Newton optimization algorithm. We can see that starting from the well established 50 Ohm match, by improving our front end design at each step in the direction of increasing mutual information, we can gain up to 1.75 bits per

channel use (bpcu) for a  $2 \times 2$  system in the regime of high transmit power.

However, two disadvantages of such a construction are the circuit complexity and the relative narrow operating bandwidth [1]. Therefore, future work will focus on better understanding the joint design of the transmitter and receiver and on obtaining front ends that offer more realistic practical constructions while still retaining a large portion of the gains.

## Literature:

- [1] Lau, B.K. et al.: Impact of Matching Network on Bandwidth of Compact Antenna Arrays. In: *IEEE Trans. Antennas & Prop.*, Nov. 2006
- [2] Warnick K. F. et al: Minimizing the Noise Penalty Due to Mutual Coupling for a Receiving Array. In: *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, June 2009
- [3] Ivrlač, M.T.; Nossek, J.A.: A Multiport Theory of Communications. In: *Proc. Int. Conf. of Source and Channel Coding*, Siegen, Jan. 2010



Rate of a MIMO  $2 \times 2$  system at SNR=20 dB with antenna spacing of  $d/\lambda = 0.1$

# Capacity Bounds for a Class of Diamond Networks

Shirin Saeedi Bidokhti

Drahtlose Relaisnetzwerke spielen in unserem täglichen Leben eine große Rolle. Die wichtigsten Ressourcen von Netzen – Bandbreite und Energie – sind begrenzt und teuer. Deshalb ist die Verbesserung der Netze hinsichtlich dieser Größen eine wichtige und lohnende Aufgabe. Im Beitrag werden fundamentale Grenzen der Kommunikation in Relaisnetzwerken angegeben und nach effizienten Kommunikationsstrategien gesucht. Wir betrachten dabei ein Netzwerk mit zwei Relais.

Wireless relay networks have gained significant importance since their emergence in our every-day life. The available resources in networks, i.e., bandwidth and energy, are costly and limited; improving their utilization has great value. We investigate the fundamental limits of communication in relay networks and seek efficient communication strategies. We focus on a two-relay network.

Suppose communication takes place with the help of intermediate

nodes, rather than directly, see Fig. (a). Here, the source broadcasts its message to the relay nodes. The relays observe the received signal, re-encode it, and transmit to the receiver. Since the received power decreases with distance, relay-assisted communication saves energy. Furthermore, the wireless nature of communication may allow the receiver to gather information via different paths (i.e., use the diversity offered by the relays). So employing cooperative strategies, the source and the relay could make better use of the bandwidth and power. Finding good cooperative strategies has significant theoretical and practical impact.

One of the main building blocks of relay networks is the diamond network shown in Fig. (a) which consists of a broadcast channel (BC) and a multiple access channel (MAC). This network was introduced in [1]. In order to fully utilize the MAC we would ideally like full cooperation between the relays. On the other hand, in order to communicate the maximum amount of information and better use the diversity of the two existing paths, we would like to send independent information to the relays.

We study a class of diamond networks where the broadcast com-

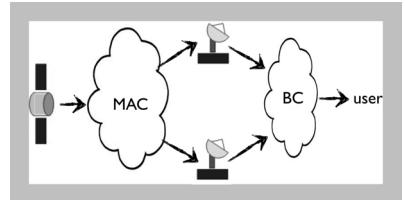


Fig. (a): The diamond network

ponent is modeled by two independent bit-pipes, each of capacity  $C$ . In [2], we analyze the regime of operation where the relays start to cooperate. In [3], we find new upper and lower bounds on the capacity which improve the previous bounds in [5]. The upper bound is in the form of a max-min problem, where the maximization is over a coding distribution and the minimization is over an auxiliary channel. Our proof technique generalizes the technique of [6] (which is specialized to Gaussian MACs) to discrete memoryless MACs. Our lower bound is achieved by a new communication scheme which provides both of the relays with some common information. We show the tightness of our bounds in several cases. Our bounds are evaluated for a Gaussian MAC in Fig. (b).

## Literature:

- [1] Schein, B. E.: Distributed Coordination in Network Information Theory. PhD Dissertation, MIT, 2001
- [2] Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: An Application of a Wringing Lemma to the Multiple Access Channel with Cooperative Encoders. In: *Proc. IEEE Iran Workshop Commun. Inf. Theory*, May 2014
- [3] Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: Capacity Bounds for a Class of Diamond Networks. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, July 2014
- [5] Traskov, D.; Kramer, G.: Reliable Communication in Networks with Multi-access Interference. In: *Proc. IEEE Inf. Theory Workshop*, Sept. 2007
- [6] Kang, W.; Liu, N.: The Gaussian Multiple Access Diamond Channel. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, Apr. 2011

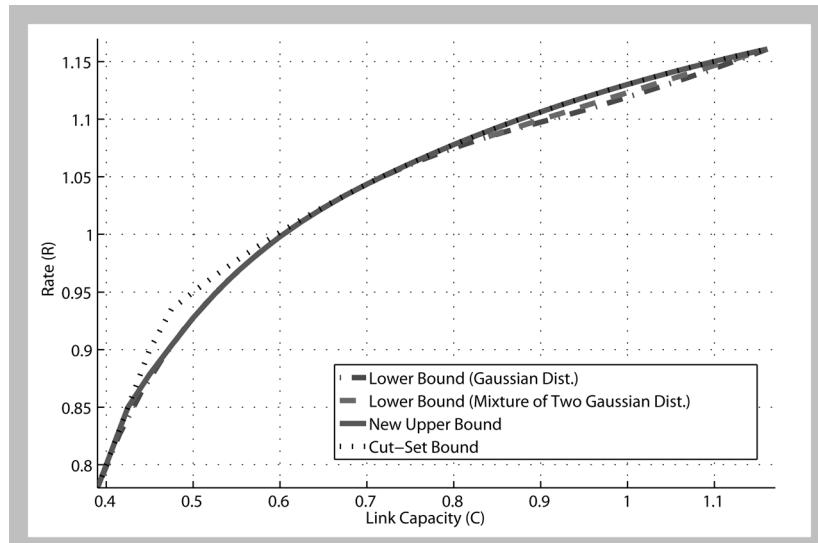


Fig. (b): Upper and Lower bound on  $R$  as a function of  $C$  for a Gaussian MAC with unit average power constraints

# Analyzing Finite-length Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes

Markus Stinner



Convolutional Low-Density Parity-Check (CLDPC) Codes haben sehr spezielle Eigenschaften. In [1] wurde gezeigt, dass sich der *Belief Propagation Threshold* durch das Verketten einer finiten Anzahl von LDPC-Codes unendlicher Länge zu einem *Spatially Coupled Code* dem *Maximum-A-Posteriori Threshold* annähert.

Bis jetzt existieren jedoch keine Methoden, um die Parameter solcher Codes für praktische Anwendungen zu bestimmen. Mithilfe von *Scaling Laws* sagen wir das Verhalten endlich langer Codes für den *Binary Erasure Channel* (BEC) vorher. Dafür berechnen wir Wahrscheinlichkeiten und Zeitpunkte des Decodierversagens bei iterativer Decodierung und gewinnen die in der Grafik gezeigten Performance-Kurven. In Zukunft möchten wir diese Arbeit auf weitere Kanalmodelle sowie auf nichtbinäre *Convolutional LDPC-Codes* (NB-CLDPC) generalisieren.

Recently, convolutional low-density parity-check (CLDPC) codes have gained attention due to an interesting phenomenon called threshold saturation. In [1], Kudekar et al. showed that the spatial coupling of LDPC codes increases their belief-propagation threshold up to the maximum-a-posteriori threshold of the underlying ensemble which is the maximum possible value.

The basic construction of the used codes is based on protographs. Small LDPC Tanner graphs called protographs are spatially coupled and form a convolutional protograph which then gets lifted.

While it is known that these codes reach capacity for infinitely long block lengths [1], it remains an open question how these codes perform for finite code lengths

We follow the approach in [2] where scaling laws are applied. The basic idea is that in the waterfall region, the finite length performance of a code can be predicted with scaled versions of a mother curve  $f(z)$ .

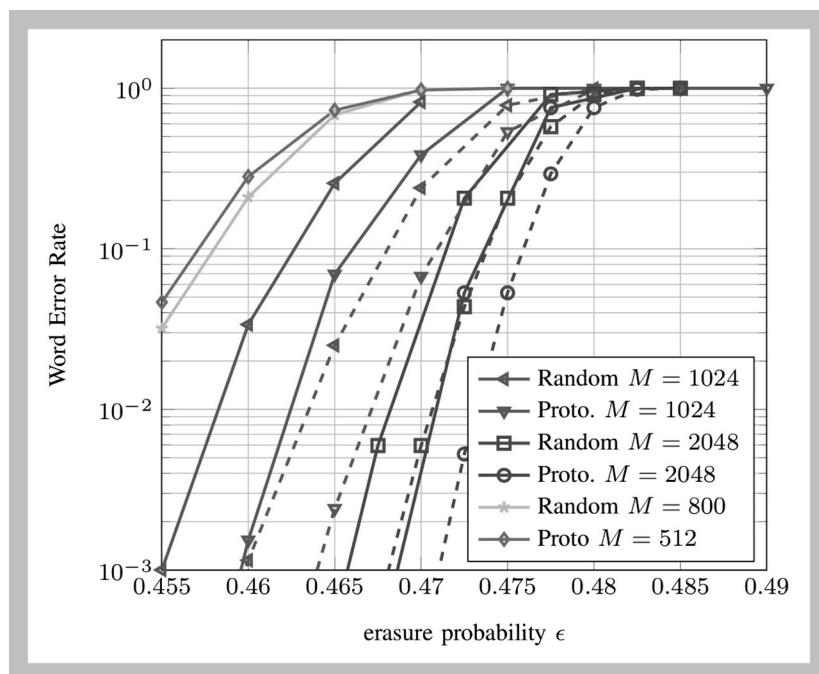
To derive the scaling parameters, we calculate the survival probability of the decoding process, i.e. how likely the iterative decoding of the SC-LDPC code fails [4]. Using these parameters, we obtain the performance curves shown below for protograph-based SC-LDPC codes and structured SC-LDPC codes containing more randomness in the connections. Comparing different constructions, we observed differences in the behaviour of construction methods.

The figure below shows the finite-length performance of random and protograph-based coupled constructions over the BEC where 100 codes are spatially coupled. The size varies from  $M=512$  to  $1024$  variable nodes per coupled code. The more structured, protograph-based codes perform better than their more random counter parts.

We plan to extend these results to channels like the *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) channel and to more sophisticated structures as in [4] as well as to nonbinary convolutional LDPC (NB-CLDPC) codes.

## Literature:

- [1] Kudekar, S.; Richardson, T.; Urbanke, R.: Spatially Coupled Ensembles Universally Achieve Capacity under Belief Propagation. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), July 2012
- [2] Olmos, P. M.; Urbanke, R.: A Closed Form Scaling Law for Spatially Coupled LDPC Codes over the BEC. In: *Proc. IEEE Inf. Theory Workshop* (ITW), Sept. 2013
- [3] Stinner, M.; Olmos, P.M.: Analyzing Finite-length Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), July 2012
- [4] Lentmaier, M.; Mitchell, D.; Fettweis, G.; Costello, D.: Asymptotically Good LDPC Convolutional Codes with AWGN Channel Thresholds Close to the Shannon Limit. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Turbo Codes and Related Topics*. (ITSC), Sept. 2010



Predicted and simulated word error rate on the BEC for two different types of 100 coupled LDPC codes

## Streaming Information with Finite Delay

Roy Timo

Die Laufzeitbeschränkungen heutiger Kommunikationssysteme sind oft so gravierend, dass Shannons Kanalkapazität keine Aussagen mehr erlaubt. Man benötigt dann präzisere Leistungsmaßstäbe, die das Zusammenspiel zwischen Rate und Zuverlässigkeit für begrenzte Verzögerungszeiten wiedergeben. Unser Ziel ist es, die Austauschbeziehungen zwischen Rate, Zuverlässigkeit und Verzögerung in einem Streaming-Kommunikationssystem zu verstehen, bei dem die Daten nahezu in Echtzeit gesendet und Bit für Bit decodiert werden.

The delay constraints of modern communications systems are often too short for Shannon's channel capacity to be meaningful. For such systems, a more precise performance benchmark is required; a benchmark that characterises the interplay between rate, reliability and delay in the finite-delay regime.

The recent award winning work of Hayashi [1] and Polyanskiy, Poor, Verdú [2] has improved our understanding of the finite-delay regime for communications systems with *block code* architectures, for example, low-density parity check codes, polar codes, Reed-Solomon codes, and Hamming codes. In this project, we study how finite delay impacts communications systems with *streaming code* architectures, for example, tree codes, trellis codes and convolutional codes.

The idea of streaming data over a noisy channel with finite delay is typically a key feature of distributed control systems and tracking problems with short-delay constraints. A promising example of the need for short-delay tracking systems comes from the recent paradigm shift to algorithmic trading in the foreign-exchange market.

The foreign-exchange market is decentralised, massive and operates around the clock. Electronic "match-maker" platforms, spread throughout the world, connect thousands of buyers and sellers each second, and sophisticated computer algorithms

track market movements and implement trading strategies.

Some foreign-exchange algorithms profit by arbitrage (exploiting small, short-lived, discrepancies in the exchange rates between currencies). Some algorithms minimise the cost of executing large currency orders (e.g., a large company paying a foreign debt) while other algorithms predict market changes arising from external forces, such as government and corporate announcements, news and social network feeds. Profitability, in most cases, requires short delay (e.g., microsecond) access to accurate market data [3].

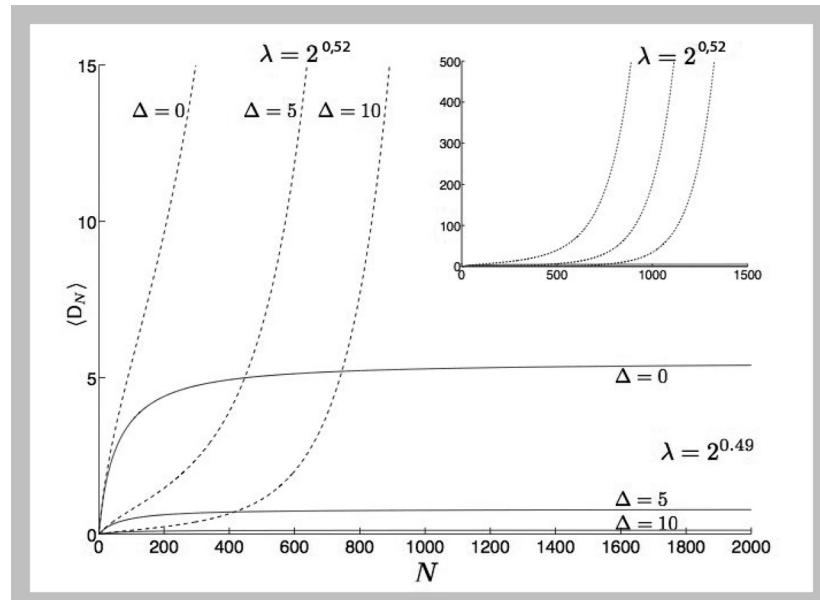
The problem of communicating FX prices over a noisy channel or network shares many similarities with the abstract problem of tracking an unstable (explosive) autoregressive process over a discrete memoryless channel. An unstable autoregressive process is a random process of the form

$W_n = \lambda W_{n-1} + U_n$ ,  $\lambda > 1$ ,  
where  $n = 1, 2, \dots$  denotes the time index, and  $U_1, U_2, \dots$  is a real-valued independent and identically distributed "innovation" process.

In [2], we present achievable performance bounds for the best possible L1 tracking error at the receiver. Some such bounds are shown in the figure below. The bounds characterize some of the interplay between reliability and delay.

### Literature:

- [1] Hayashi, M.: Information Spectrum Approach to Second-order Coding Rate in Channel Coding. In: *IEEE Trans. Inform. Theory*, Nov. 2009
- [2] Polyanskiy, Y.; Poor, H. V.; Verdú, S., Channel Coding Rate in the Finite Blocklength Regime. In: *IEEE Trans. Inform. Theory*, May 2010
- [3] Schneider, D.: The Microsecond Market. In: *IEEE Spectr.*, June 2012
- [4] Timo, R.; Grant, A.; Vellambi, B.N.: Streaming with Autoregressive-Hamming Distortion for Ultra Short-Delay Communications. In: *Proc. Int. Symp. Inform. Theory*, July 2014



Achievable bounds on the average distortion ( $D_N$ ) for the parallel BSC with  $M = 2$ ,  $k = 5$  and  $\varepsilon = 0.11$ . The bounds are plotted as a function of the number of source symbols  $N$  (or equivalently, the number of binary channel symbols  $kN$ ).

# Information Theory of Optical Fiber

Mansoor I. Yousefi



Betrachtet wird die Kapazität eines Kanals, der durch die stochastische nichtlineare Schrödinger-Gleichung definiert ist und die Effekte chromatische Dispersion, Kerr-Nichtlinearität sowie spontanes Emissionsrauschen berücksichtigt. Es wird ein einfaches, diskretes Modell entwickelt, das die wichtigsten Kanaleigenschaften beinhaltet, und darauf aufbauend die Informationstheorie in geeigneter Weise angewendet.

Although the capacity of many classical communication channels has been established, determining the capacity of fiber-optic channels has remained an open and challenging problem. The capacity of the optical fiber channel is difficult to evaluate because signal propagation in optical fibers is governed by the stochastic nonlinear Schrödinger (NLS) equation, which causes signal and noise to interact in a complicated way.

The NLS equation describes the evolution of the slowly-varying complex envelope  $q(t, z)$  of a narrow-band small-amplitude signal propagating in a dispersive weakly-nonlinear medium, such as an optical fiber. By proper scaling, the equation can be normalized to the following dimensionless form in 1+1 dimensions:

$$j \frac{dq}{dz} = \frac{d^2q}{dt^2} + 2 |q|^2 q + n(t, z). \quad (1)$$

Here  $t$  denotes retarded time,  $z$  is distance and  $n$  is white Gaussian noise.

Prior work on the capacity of the optical fiber is limited to linear models, computer simulations, perturbation theories in cases where the nonlinearity is small or in the pseudo-linear regime of propagation, modeling nonlinearity by multiplicative noise in the wavelength-division multiplexing (WDM) systems [1], estimates on achievable rates via multiple-ring modulation formats [2], or specializing to the case of zero dispersion [3]. The figure shows the achievable rates of the primary

user in a WDM system obtained by numerical simulations. Crucially, the graph of the rate versus average power has a finite maximum, which is commonly believed to be due to the nonlinearity.

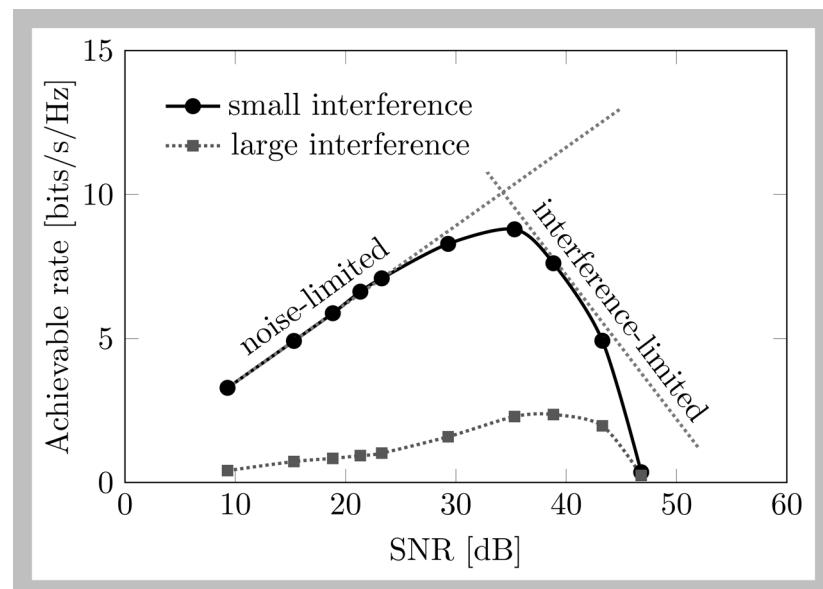
To help understand limitations that Kerr nonlinearity imposes on data rates in optical fiber, we look at the fiber as a cascade of a large number  $n \rightarrow \infty$  of pieces of discrete fiber segments by discretizing (1) according to the split-step Fourier method. Under simplifying assumptions, this gives rise to a discrete model for the optical fiber, where the entropy production in each stage can be quantified. A lower bound on the capacity of this channel model is obtained which is akin to that found in the literature of fading channels. It is rigorously proved that for this model the capacity achieving input distribution, under average and peak power constraints, is discrete, consisting of a finite number of manifolds in  $R^n$ , where points on each manifold are uniformly distributed. With further simplifications, these manifolds are  $n$ -spheres [4].

In obtaining a discrete model from the continuous-time NLS equation, important features of the optical channel are lost. This is due to our

own assumptions as well as shortcomings of discrete models. Our ongoing research is focused on a better understanding of the information theory of the continuous-time model.

## Literature:

- [1] Mitra, P. P.; Stark, J. B.: Nonlinear Limits to the Information Capacity of Optical Fibre Communications. In: *Lett. Nature*, vol. 411, no. 6841, pp. 1027–1030, June 2001
- [2] Essiambre, R. J.; Kramer, G.; Winzer, P. J.; Foschini, G. J.; Goebel, B.: Capacity Limits of Optical Fiber Networks. In: *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 662–701, Feb. 2010
- [3] Yousefi, M. I.; Kschischang, F. R.: On the Per-Sample Capacity of Non-dispersive Optical Fibers. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 11, pp. 7522–7541, Nov. 2011
- [4] Yousefi, M. I.: On the Capacity of Dispersive Optical Fibers. In: *2014 Info. Theory and Appl. Workshop (ITA 2014)*. Poster presentation, San Diego, CA, USA, Feb. 2014



Achievable spectral efficiency of the user of interest in a WDM system

## Überblick über die Forschungsthemen im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Norbert Hanik

To my great surprise, already ten years have passed since I started my work here at TUM as head of the Wireline Communications Section. The second generation of research assistants is currently in the phase of their Ph.D. defense. New projects of the years to come deal with the further increase of capacity of optical networks, and with efficient transmission over copper-based cable-infrastructure. These new projects are outlined on the following pages.

Finally, I am very pleased to report that Dr. Leonardo Coelho, member of our research team until 2011, has been appointed to a full professorship at the University of Recife, Brasil. Congratulations!

Auch in den letzten beiden Jahren meiner nunmehr schon 10-jährigen Tätigkeit an der TU München haben sich die Forschungsschwerpunkte der leitungsgebundenen Übertragungstechnik stetig weiterentwickelt. Die aktuellen Arbeiten werden hier kurz zusammengefasst, eine genauere Beschreibung erfolgt auf den folgenden Seiten dieses Berichts.

Einige Arbeiten, über die bereits im vorigen Tätigkeitsbericht referiert wurde, konnten mit der Promotion der bearbeitenden Assisten(inn)en erfolgreich abgeschlossen werden: So hat mit *Markus Roppelt* (ADVA, Meiningen) ein externer Doktorand seine Arbeit über die Frequenzstabilisierung von Lasern in optischen WDM-Zugangsnetzen mit seiner Promotion im Februar 2014 erfolgreich beendet.

*Oscar Gaete Jamett* schloss seine Promotion mit einer Arbeit über die Untersuchung und Optimierung von 100 Gbit/s-Systemen mit differenzieller Demodulation im April 2014 erfolgreich ab.

*Beril Inan* bewies in den letzten Monaten ihr hervorragendes Talent zum Multi-Tasking: Mit einer Arbeit zum Thema *Optisches OFDM in Weitverkehrssystemen* schloss sie ihre Promotion im Mai 2014 erfolgreich ab. Als mittlerweile verheiratete Frau *Beril Inan-Vural* wurden sie und ihr Mann *Firat Vural* nur wenige Wochen nach ihrer Prüfung stolze Eltern eines Sohnes.

*Stephan Hellerbrand* hat seine umfangreiche Dissertation zum Thema *Vorverzerrung und Entzerrung optischer Übertragungssysteme* ebenfalls noch im Berichtszeitraum abgegeben; seine mündliche Prüfung wird nach einigen Terminverschiebungen im November 2014 stattfinden, was die Berücksichtigung in diesem Tätigkeitsbericht noch rechtfertigt.

Abschließend eine kurze Aufzählung unserer aktuellen Arbeiten: *Tobias Fehenerberger* untersucht die Kapazität kohärenter optischer Systeme durch Auswertung der Transformation (engl. Mutual Information). Diese Methode erlaubt die Einbeziehung realer Randbedingungen wie beispielsweise spezielle Modulationsverfahren, die limitierenden Eigenschaften der DA- und AD-Wandler, Treiber, Modulatoren, nichtlineare Fasereigenschaften sowie die gesamte Signalverarbeitung im Empfänger. Aktuelle Ergebnisse wurden auf der *European Conference on Optical Communications* (ECOC) 2014 in Cannes präsentiert. In diesem Heft finden Sie seinen Beitrag auf Seite 74.

*Yingkan Chen* hat im Berichtszeitraum seine Arbeiten zum Projekt *ATOB: Architekturen, Technologien, offene Netzinfrastruktur für das optische Breitbandzugangsnetz* abschließen können, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung über drei Jahre gefördert wurde. Er hat zum Thema *Einsatz von OFDM in optischen Zugangsnetzen* umfassende Untersuchungen zur Kapazität und Reichweite solcher Systeme durchgeführt, und die Funk-

tionsfähigkeit des gesamten Systems wurde von allen Projektpartnern in einem Feldversuch auf verlegten Fasern im Raum Berlin demonstriert. Die Ergebnisse dieses Demonstrators wurden im März 2014 auf der *Optical Fiber Communication Conference* (OFC) in San Francisco präsentiert. Derzeit setzt *Yingkan Chen* die von ihm entwickelten Algorithmen in optischen WDM-Systemen über sog. Few-Mode-Fasern ein. Hier gelang die experimentelle Übertragung von insgesamt 42 Tbit/s über 72 km Few-Mode-Faser. Die Ergebnisse dieses bei Coriant durchgeföhrten Labor-experiments wurden im September 2014 auf der ECOC in Cannes präsentiert. Die Beiträge von *Yingkan Chen* finden Sie in diesem Heft auf den Seiten 73 und 83.

*Elisabeth Georg* (nach ihrer Heirat im Juni 2014 *Elisabeth Oberleithner*) führt ihre Forschungsarbeiten zur Powerline-Übertragung in Kraftfahrzeugen fort. Sie präsentierte ihre Ergebnisse zur Modellierung der Übertragungsfunktion des KFZ-Energieversorgungsnetzes auf der *2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference* (VTC) in Vancouver. Weitere Details ihrer Arbeit findet man auf den Seiten 75 und 83.

Unser Neuzugang *Ginni Khanna* bearbeitet im Rahmen einer Industriekooperation mit der Firma Coriant ein Forschungsprojekt über die Modellierung und Entzerrung linearer und nichtlinearer Verzerrungen sowohl der elektrischen als auch der optischen Komponenten in optischen Übertragungssystemen. Sie berichtet in diesem Heft auf den Seiten 76 und 84.

Abschließend soll der berufliche Erfolg eines ehemaligen Doktoranden nicht unerwähnt bleiben: *Dr. Leonardo Coelho*, bis 2011 Assistent und PostDoc in unserem Team, wurde zum September 2014 auf eine ordentliche Professur an die Universität in Recife, Brasilien, berufen. Wir beglückwünschen ihn herzlich zu diesem Erfolg!

# Coherent Optical Spatial Division Multiplexing Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmission System

Yingkan Chen



Um den zunehmenden Bedarf an Bitraten zu decken, werden zur Zeit für die Übertragungssysteme über Monomodefasern die möglichen Dimensionen wie Wellenlänge, Frequenz, Quadratur sowie Polarisation ausgenutzt. Anhand der Nichtlinearität von Shannons Kapazitätsgrenze ist abzusehen, dass ab etwa 2018 die geforderte Bitrate durch Monomodefaser nicht mehr erbracht werden kann.

Eine Möglichkeit zur Bitratenerhöhung bieten die *Spatial Division Multiplexverfahren* (SDM). Die Forschung am Fachgebiet *Leitungsbundene Übertragungstechnik* konzentriert sich unter anderem auf die Realisierung eines solchen SDM-Systems über Multimodefaser.

In order to address the coming *capacity crunch* due to the nonlinear Shannon capacity limit of the single mode fiber system [1], *Spatial Division Multiplexing* (SDM) has attracted wide attention. Recent works show that a capacity increase can be realized using spatial diversity through the increase in the number of cores in a multi-core fiber, the amount of spatial modes, and a joint transmission exploiting both cores and modes. Among all these different approaches of SDM realization, optical transmission over few-mode fiber (FMF) is a fundamental technique for future evolution into multi-core multi-mode SDM systems.

As illustrated in Fig. (a), we focus on increasing the bit-rate using 12 spatial and polarization modes with ultra-dense WDM over the C-band via *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) with its potential to achieve lower signal processing complexity [2]. We use integrated photonic-lantern based couplers to transmit 255 optical channels per mode over 74.17 km FMF. Using coherent heterodyne detection, all channels in each mode are recovered using 12×12 multiple-input multiple-output (MIMO) di-

gital signal processing (DSP) and the bit error rate (BER) is below the forward error correction (FEC) limit  $2.4 \cdot 10^{-2}$  (see Fig. (b), assuming 20% overhead). To our knowledge, this is the highest achieved capacity over 6-mode fiber.

The SDM Dense-WDM (DWDM) signal is transmitted through 74.17 km of FMF composed of five spools. The accumulated DMD equals to 1.95 ns which is covered in the cyclic prefix of the OFDM signal (CP length: 8 ns). After mode de-multiplexing, all the six tributaries are first amplified using EDFA, filtered by the tunable filter and detected by six coherent receivers using heterodyne detection, and sampled using digital sampling oscilloscopes.

A novel fully-packaged 3D-waveguide based dual-fiber spatial-(de-) multiplexer including two photonic lantern structures are applied. The insertion loss is <8 dB and has a mode dependent loss of around 7 dB.

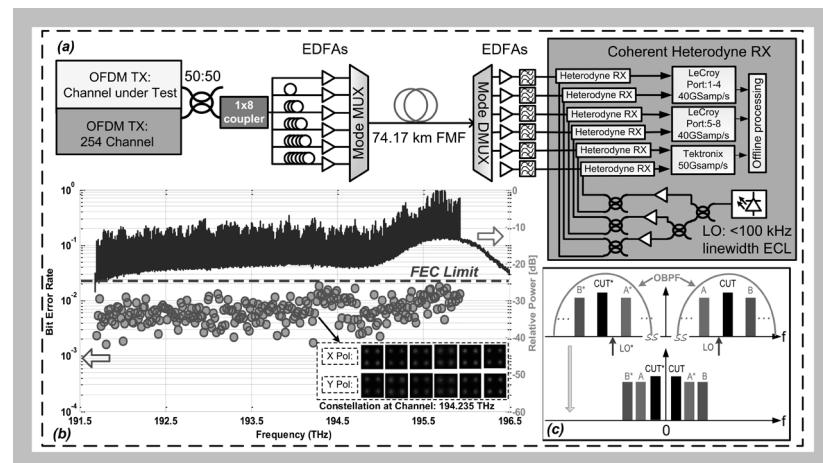
The detected OFDM signals are processed in the offline DSP. After time synchronization based on the cross-correlation technique, the frequency offset is estimated using the Schmidl-Cox algorithm. Then the signals are transformed into the frequency domain and the  $12 \times 12$  signals are extracted to calculate the  $12 \times 12$  channel matrix using the MMSE approach for each data-subcarrier.

Pilot subcarriers in each OFDM symbol are used for laser phase noise compensation via a common phase error compensation method [3] and the quasi-pilot aided method.

The performance of the transmission is illustrated in Fig. (c). Due to the frequency response of the EDFA at the receiver, the received spectrum is no longer flat, which leads to a lower SNR for higher frequencies. However, all 255 channels are evaluated and the BER is below the FEC limit. The BER is an average of all the six tributaries and is evaluated over 4.3 million bits.

## Literature:

- [1] Essiambre, R. J. et al.: Capacity Limits in Single Mode Fiber and Scaling for Spatial Multiplexing. In: *Proc. OFC, OW3D.1*, Los Angeles, 2012
- [2] Inan, B. et al.: Low Computational Complexity Mode Division Multiplexed OFDM Transmission over 130 km of Few Mode Fiber. In: *Proc. OFC, OW4F.4*, Anaheim, 2013
- [3] Schenk, T.: RF Imperfections in High-rate Wireless Systems. Berlin: Springer, 2008



Experiment setup (a) and results (b) of the transmission based on CO-SDM-OFDM 12x12 spatial and polarization modes. (c): realization of WDM heterodyne detection for each code

## Achievable Rates for Digital Back-Propagation of a Superchannel

Tobias Fehenberger

Um bei optischen Übertragungssystemen nichtlineare Störinflüsse von benachbarten Wellenlängenkanälen einzudämmen, kann am Empfänger *digital back-propagation* verwendet werden. In Fasersimulationen mit Wellenlängenmultiplex wurde festgestellt, dass bis zu 0.2 bit bzw. 0.9 bit (jeweils pro Kanalbenutzung) gewonnen werden können, wenn der mittige Kanal bzw. das gesamte Spektrum zurückpropagiert wird. Die Implementierbarkeit dieses Systems in Echtzeit ist momentan aus Komplexitätsgründen allerdings noch nicht möglich.

The increasing demand for high data rates in optical fiber communications has led to high-order modulation formats such as 16-state quadrature amplitude modulation (QAM) being used for long-haul links. Simultaneously, wavelength-division multiplexing (WDM) channels are spaced almost at the Nyquist rate to increase the spectral efficiency. Superchannels are a logical evolution of this trend [1] as they are generated, rout-

ed, and finally processed in a joint manner such that information about co-propagating signals is available at the receiver. As high-order modulation schemes are more susceptible to noise and the sub-channels of a superchannel experience stronger nonlinear signal-signal interference due to the decreased WDM spacing, steps must be taken to ensure a sufficiently small post-forward error correction (FEC) bit error rate (BER).

A powerful method to mitigate the nonlinear effects that occur during propagation is digital back-propagation (DBP) [2]. DBP aims at compensating the nonlinear impairments by undoing the signal propagation in the digital domain at the receiver. With more side information available at the receiver, the gain by DBP is increased when more than one WDM channel is back-propagated [3].

The effect of varying the number of back-propagated channels is analyzed in simulations with mutual information (MI) as the figure of merit. We simulated a Nyquist-WDM system with 28 GBaud per channel and 15 channels spaced at 30 GHz over 60x100km standard mode fiber and DBP or digital chromatic dispersion (CD) compensation. The figure shows the MI for a launch power

from -8 dBm to 8 dBm. The number in each circle is located next to the maximum MI obtained for the respective optimum launch power and indicates how many channels are back-propagated, with zero denoting CD compensation only. In this case, a maximum MI of 2.9 bits per channel use (bpcu) is achievable for the considered transmission system. The corresponding net dual-polarization data rate per channel is 162.4 Gbit/s.

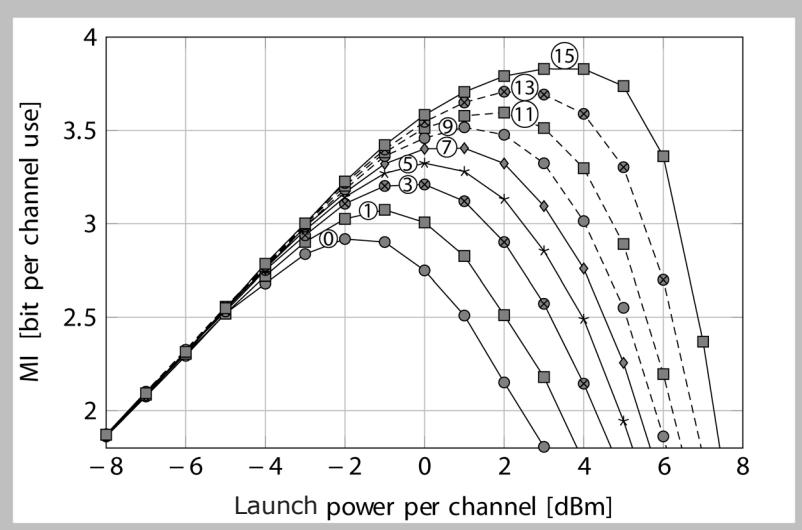
When DBP is performed, the optimal transmit power and the MI increase. For single-channel (SC) DBP, MI grows by 0.2 bpcu compared to CD compensation only, increasing the net data rate per channel to 173.6 Gbit/s.

This trend qualitatively continues with the number of back-propagated channels as shown in the figure. For full multi-channel DBP, i.e., when all WDM sub-channels are processed, more than 3.8 bpcu are achievable.

This corresponds to a net data rate of 212.8 Gbit/s per channel, which is a gain of almost 40 Gbit/s and more than 50 Gbit/s compared to SC DBP and no DBP, respectively. This apparently large gain comes at high computational costs at the receiver. Even SC DBP of reduced complexity and thus, reduced performance is currently not implementable in real-time.

### Literature:

- [1] Huang, Y.-K. et al.: Terabit/s Optical Superchannel with Flexible Modulation Format for Dynamic Distance/Route Transmission. In: *Proc. Opt. Fiber Comm. Conf.*, March 2013
- [2] Li, X. et al.: Electronic Post-compensation of WDM Transmission Impairments using Coherent Detection and Digital Signal Processing. In: *Optics Express*, Feb. 2008
- [3] Rafique, D. et al.: Impact of Signal ASE Four-wave Mixing on the Effectiveness of Digital Back-propagation in 112 Gb/s PM-QPSK Systems. In: *Optics Express*, June 2011



Achievable rates for digital back-propagation

# Impact of System Components on an Automotive PLC Channel

Elisabeth Georg

Im Berichtszeitraum wurde die Modellierung eines PLC-Fahrzeugkanals untersucht, insbesondere die Auswirkungen einzelner Fahrzeugkomponenten auf die Übertragungscharakteristik. Dabei wurde gezeigt, dass die Fahrzeugharre, die Verkabelungsdimension sowie die Eingangswiderstände von Steuerkomponenten eine dominante Rolle spielen.

The increasing demand on Internet access and high data rate transmission triggered the emergence of new and cost effective technologies and hence the development of Power Line Communication (PLC). Due to its low implementation costs, easy deployment and clear structure, PLC is a promising solution for enabling data transmission without the need of deploying dedicated communication cabling infrastructure. Its benefits make PLC a popular and favoured transmission technology in some areas, as e.g. in-building areas.

The maturing of PLC technology and the benefits of reusing an existing wiring network are boosting the interest of both the automobile industry and academics. In the past, research on different application fields of automotive PLC has been done as in [1]. Modelling and simulation of an automotive PLC channel was the scope of some recent works as e.g. [2, 3]. This work is also dedicated to modelling and characterizing an in-vehicle PLC channel. However, it

introduces a systematic composition and analysis of a car PLC network and gives an additional understanding of the extent to which particular system components contribute to the specific automotive PLC channel characteristic. System parameters, such as varying distance of power lines to the carriage and wiring dimension, and their degree of impact on the channel behaviour are investigated. Simulation results are compared with measurement data from a BMW 5 series. A generic model is applied, which can be easily adapted to any kind of vehicle and configuration. The presented consolidated analysis of an automotive PLC network allows for the study on the impact of specific network components on the transmission performance [4].

Comparing a measured transmission loss in an in-vehicle power line network and simulation results for an isolated power line network does generally not give a good match. Hence, a systematic composition of an automotive PLC channel was the focus of this work. Fig. (a) depicts the channel behaviour for a simulated and measured power line between the front and rear power distributions. It can be derived that the power line itself contributes on average less than 20 dB of transmission loss to the system. Considering a wiring harness built by hundreds of linked cables would obviously account for higher attenuation. However, the typical steep slope of the in-

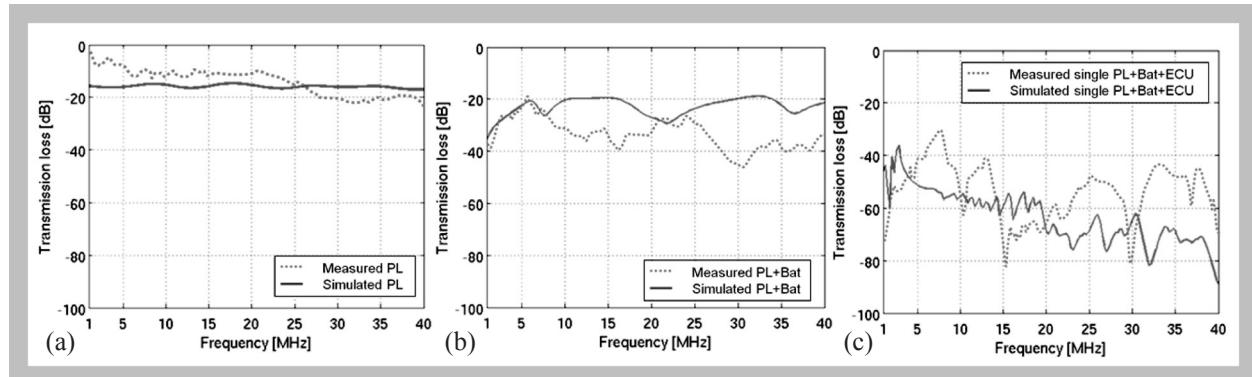
sertion loss at low frequencies up to 10 MHz is not caused by the cables.

Appending a car battery to the simulation model produces a transmission loss as illustrated in Fig. (b). As confirmed by the measurements, the battery adds notable insertion loss. Further, the obtained results feature high attenuation at low frequencies.

Fig. (c) depicts results for a power line with attached electrical control unit (ECU). The results show that the appended ECU provides further transmission loss. The reasonable match of measured and theoretic data supports the applicability of the simulation model.

## Literature:

- [1] Nouvel, F.: CDMA for an Automotive Area Network over Power-lines. In: *Proc. IEEE 44<sup>th</sup> Vehicular Techn. Conf. (VTC)*, June 1994
- [2] Esmailian, T.: An In-building Power Line Channel Simulator. In: *Proc. ISPLC 2004*, Apr. 2004
- [3] Lienard, M.: Modeling and Analysis of In-Vehicle PLC Channels. In: *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 2, March 2008
- [4] Georg, E., Hanik, N.: Impact of System Components on an Automotive PLC Channel. In: *Proc. IEEE 80<sup>th</sup> Vehicular Techn. Conf.*, Sept. 2014



Impact of system components on an automotive PLC channel



# 6

## Arbeitsgebiete

Optische Kommunikationssysteme sind wichtiger Bestandteil der Transportinfrastruktur. Die Nachfrage nach größeren Glasfaser-Kapazitäten hat zur Entwicklung optischer Kommunikationssysteme mit hoher spektraler Effizienz und höheren Modulationsverfahren wie 16-QAM geführt.

Bislang wurden digitale Signalverarbeitungstechniken(DSP) immer auf der Empfängerseite implementiert. Eine Lösung, um die linearen und nichtlinearen Effekte mangelhafter Senderkomponenten zu überwinden, ist die Implementierung von DSP-Techniken im Sender in Form einer Vorverzerrung. Das vorverzerrte Signal erzeugt zusammen mit der nichtlinearen Komponente insgesamt ein System von höherer Linearität in Bezug auf den Transmitter und führt zu einer besseren Systemleistung.

Optical communication systems are an essential part of the transport infrastructure, which are capable of providing high speed internet and

## Signal Pre-Distortion for Non-Linear Components in Real-Time Optical Communication Systems

Ginni Khanna

data services. The demand for higher speeds and better fiber capacities has led to the research and development of optical communication systems with higher spectral efficiency and higher order modulation formats such as 16 quadrature amplitude modulation (QAM) and 32-QAM.

The transmitter of a typical optical communication system consists of a digital signal processor, which generates the digital data with the required modulation format for transmission over the optical fiber. The digital-to-analog converter (DAC) converts the digital bits into the corresponding analog forms. The driver amplifiers amplify the incoming analog data and are responsible for providing a linear peak-to-peak voltage to the Mach-Zehnder modulator (MZM). After modulation of the light wave (from the laser) by the MZM, the modulated symbols are transmitted over the optical fiber.

The elements in the transmitter are not ideal and suffer from certain linear and non-linear impairments and memory effects. At higher baud rates, the components impose a bandwidth limitation. In addition to this, the driver amplifier is linear only for a limited range of input, and the MZM is non-linear and the ex-

tinction ratio (ER) of the MZM is not ideal. All these effects together with other fiber effects contribute towards system performance degradation.

Until now, digital signal processing (DSP) techniques have always been implemented on the receiver side. One solution to overcome the effects of the imperfect components of the transmitter is to implement DSP techniques also at the transmitter. In such a setup, signal pre-distortion techniques are implemented to introduce certain nonlinearities in the signal. In this way, the pre-distorted signal together with the non-linear components produce a more linear overall system leading to a better system performance.

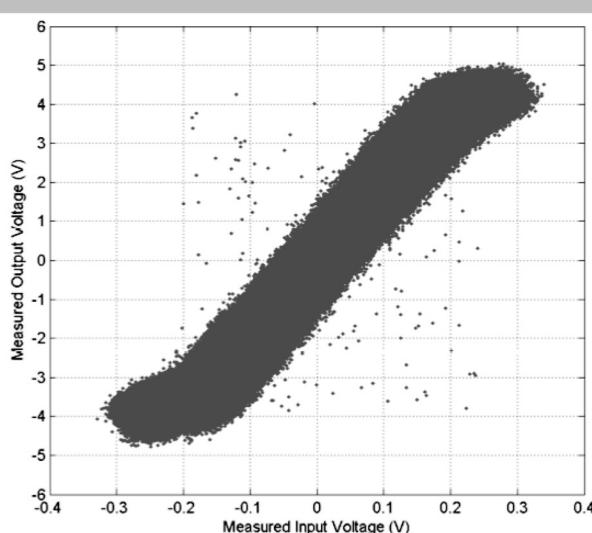
In order to come up with a model for the pre-distorter, it is essential to first study the characteristics of the non-linear system and come up with a model capturing all the effects.

One such study was carried out for the driver amplifier used in optical communication systems to drive the MZM. In such an approach, the driver amplifier was modeled using a non-linear memory polynomial model such as the Volterra series [1]. The figure shows how increasing the memory in the model decreases the mean square error (given besides the model) and gives an accurate description of the driver amplifier. Such a model could then be used for pre-distorter training.

In the next steps, we plan to evaluate various pre-distortion techniques to mitigate the effects of the driver amplifier and the MZM. The pre-distortion algorithms will then be implemented and tested for larger modulation formats.

### Literature

- [1] Schetzen, M.: The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems. New York: Wiley, 1989
- [2] Ku, H.; Kenney, J.: Behavioral Modelling of Nonlinear RF Power Amplifiers considering Memory Effects. In: *Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 12, Dec. 2003



Memory model for amplifier

# 7

## Extern geförderte Projekte

### 7.1 Vorbemerkungen zu den Forschungsprojekten

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

Beginnen wir bei der Auflistung der durch Drittmittel finanzierten Forschungsprojekte beim Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT):

Das von der US-amerikanischen *National Science Foundation* geförderte Projekt (Kapitel 7.2, Bearbeiter: H. Ghozlan) begann unter Gerhard Kramer bereits 2009 an der *University of Southern California* und endete im Sommer 2014 nach fünf Jahren.

Auch das Ein-Jahres-Projekt mit *Alcatel-Lucent* (Kapitel 7.5, M. Stinner) und das DFG-Projekt *Multiport Communication Systems* über zwei Jahre (Kapitel 7.6, A. Nedelcu) wurden im Berichtszeitraum beendet.

Das von der Helmholtz Allianz über insgesamt viereinhalb Jahre geförderte Projekt *DLR@Uni – Munich Aerospace Systems* (Kapitel 7.3, M. Heindlmaier) in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Kommunikation und Navigation der DLR wird noch zwei Jahre weiterlaufen.

Ebenfalls fortgesetzt wurde die Kooperation mit *Nokia Siemens Networks* (nach Umbenennung: *Nokia Networks*) zum Thema *Cooperative Methods for Wireless Networks* (Kapitel 7.4, S. Dierks). Nach der Nokia-Firmenstrategie werden hier stets Projekte über maximal ein Jahr vereinbart, die sich aber nahtlos aneinander anschließen.

Die Kapitel 7.7–7.9 beschreiben Finanzierungsprojekte für drei Postdoktoranden. Das *TUM Institute for Advanced Study* (TUM-IAS) hat 2011

das *Hans Fischer Senior Fellowship Program* gestartet. Gefördert wurde u.a. Professor Frank Kschischang (University of Toronto) durch eine Wissenschaftlerstelle für den LNT, die seit Ende 2012 von Dr. Mansoor I. Yousefi besetzt ist.

Der zweijährige Forschungsaufenthalt von Dr. Luca Barletta wird ebenfalls von TUM-IAS finanziert. Die Wissenschaftlerstelle wurde 2012 dem *Rudolf Diesel Senior Fellow* René-Jean Essiambre von den Bell Labs und dem LNT als Gastlehrstuhl zur Verfügung gestellt.

Unser australischer Gastwissenschaftler Dr. Roy Timo erhielt eines der seltenen *Humboldt Research Fellowships for Postdoctoral Researchers*, mit dem er seinen Aufenthalt am LNT für zwei Jahre finanziert.

Das Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT) brachte im Berichtszeitraum die folgenden externen Projekte zum Abschluss:

- das vom BMBF geförderte Projekt ATOB zum optischen Breitbandzugangsnetz (Kapitel 7.10, Y. Chen),
- das Industrieprojekt mit Nokia Networks zum Thema OFDM (Kapitel 7.11, B. Inan),
- das Projekt *Powerline im Kfz* mit der BMW Group (Kapitel 7.12, E. Georg).

Im Kapitel 7.13 berichten wir über ein neues Projekt mit *Coriant* (NSN-Nachfolger im Optik-Bereich), das von Ginni Khanna bearbeitet wird.

#### 7.1 Vorbemerkungen

#### 7.2 NSF-Projekt der USC (H. Ghozlan)

#### 7.3 LNT-Projekt DLR@Uni – Munich Aerospace (M. Heindlmaier)

#### 7.4 LNT-Projekt mit NSN (S. Dierks)

#### 7.5 LNT-Projekt mit Alcatel- Lucent (M. Stinner)

#### 7.6 DFG-Projekt des LNT (A. Nedelcu)

#### 7.7 TUM-IAS-Förderung (L. Barletta)

#### 7.8 Humboldt-Förderung (R. Timo)

#### 7.9 TUM-IAS-Förderung (M. Yousefi)

#### 7.10 LÜT-Projekt mit NSN (B. Inan)

#### 7.11 LÜT-Projekt mit BMBF (Y. Chen)

#### 7.12 LÜT-Projekt mit BMW (E. Georg)

#### 7.13 LÜT-Projekt mit Coriant (G. Khanna)

**Project Implementation:**  
University of Southern California

**Funding Period:**  
01.07.2009 – 30.06.2014

**Reporting Period:**  
01.10.2012 – 30.06.2014

**Funding Agency:**  
National Science Foundation (NSF)

**Project Partners:**

- Prof. B. Chen, Syracuse University
- Prof. V. Veeravalli, University of Illinois at Urbana-Champaign
- Prof. L. Zheng, Massachusetts Institute of Technology

## 7.2 Optical Fiber Models and Capacity Estimation

Hassan Ghozlan and Gerhard Kramer

A waveform channel is considered where the transmitted signal is corrupted by Wiener phase noise and additive white Gaussian noise. A discrete-time channel model that takes into account the effect of filtering on the phase noise is developed. The model is based on a multi-sample receiver, i.e., an integrate-and-dump filter whose output is sampled at a rate higher than the signaling rate.

It is shown that, at high Signal-to-Noise Ratio (SNR), the multi-sample receiver achieves a rate that grows logarithmically with the SNR if the number of samples per symbol (also called the oversampling factor) grows with the square root of the SNR. Moreover, the pre-log factor is at least 1/2 in this case, which is achieved by amplitude modulation. The logarithmic behavior of the multi-sample receiver is a significant improvement over the double-logarithmic behavior of a matched-filter

receiver. Numerical simulations are used to compute tight lower bounds on the information rates achieved by the multi-sample receiver. The numerical simulations show that oversampling at the receiver is beneficial for both strong and weak phase noise at high SNR. The results are compared with results obtained when using other discrete-time models.

Finally, it is shown for an approximate discrete-time model of the multi-sample receiver that the capacity pre-log at high SNR is at least 3/4 if the number of samples per symbol grows with the square root of the SNR. The analysis shows that phase modulation achieves a pre-log factor of at least 1/4 while amplitude modulation achieves a pre-log of 1/2. This result is strictly greater than the capacity pre-log of the (approximate) discrete-time Wiener phase noise channel for only one sample per symbol, which is 1/2.

## 7.3 DLR@Uni – Munich Aerospace

Michael Heindlmaier und Gerhard Kramer

**Project Implementation:**  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

**Funding Period:**  
01.01.2012-30.09.2016

**Reporting Period:**  
01.10.2012-30.09.2014

**Funding Agency:**  
Helmholtz Allianz

**Project Partners:**  
Institute for Communications and Navigation, German Aerospace Agency (DLR)  

- Dr. Andrea Munari
- Dr. Gianluigi Liva
- Dr. Matteo Berioli

The goal of this project is to apply recent results from information theory and coding to scenarios that relate to aeronautical and satellite communications. The cooperation between the DLR and LNT lets both parties benefit from the experience and knowledge of the other partner.

A first line of work studied a scenario with random access of many users to one or more satellites. These satellites then forward information to a gateway. This scenario models massive machine-to-machine communications setups or systems like the O3b network (a medium earth orbit satellite network providing internet access to remote areas).

The effect of multi-receiver diversity for massive random multiple access in the uplink was studied. For the downlink, the implications of distributed source coding were

investigated. Both effects improve throughput by a large factor.

In a second line of work we investigated the application of network/index coding for satellite broadcast systems such as DVB-S2. Receivers request missing packets via an uplink channel to trigger retransmissions. This feedback channel is present in mobile satellite standards like DVB-RCS, and it can be used more efficiently by allowing coding operations at the satellite. Both theoretical and practical gains were demonstrated.

Our new schemes were adapted to specific properties of the satellite channel, and in particular to the memory that is present in mobile satellite channels. Further topics to be investigated in this project are low-complexity relaying approaches and joint optimization of medium access and coding.

## 7.4 Cooperative Methods for Wireless Networks

Stefan Dierks und Gerhard Kramer



This report describes three sub-projects, namely:

- (A) Communication Methods for Interference-Limited Wireless Systems,
- (B) Analysis of Cooperation in Local Area and HetNet Scenarios,
- (C) Analysis of Cooperating Schemes and Massive MIMO in Local Area Scenarios.

The objective of these projects is the evaluation and development of efficient communication methods for interference-limited wireless systems. In current cellular networks, a mobile station's throughput depends on its position. Next generation communication systems are required to provide similar user experience to today's broadband internet connections over the entire network. LTE-Advanced admits more users per cell and considerably higher peak and average spectral efficiency compared to 3G technologies. However,

enhancements in radio link technology alone will not solve the problem of poor coverage and throughput at the cell borders caused primarily by intercell interference.

A promising method to improve the spectral efficiency in interference-limited systems is the cooperation between base stations. While Network MIMO requires the user data to be available at all nodes, schemes like coordinated scheduling use coordination between nodes to mitigate interference. Another emerging idea to increase system performance in the presence of interference is massive MIMO where the number of transmit antennas is very large. Here intercell interference can be mitigated without cooperation through narrow transmit beams. The tradeoff between the costs of deploying more antennas and the costs of cooperation via the backhaul is analyzed.

**Project Implementation:**  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

**Funding Period:**  
(A) 01.03.2012-28.02.2013  
(B) 01.03.2013-31.12.2013  
(C) 01.01.2014-31.12.2014

**Reporting Period:**  
01.10.2012-30.09.2014

**Funding Agency:**  
(A) (B): Nokia Siemens Networks  
(C): Nokia Networks (nach Umbenennung)

**Project Partners:**  
Dr. S. Redana, W. Zirwas,  
B. Panzner (alle Nokia Networks)

## 7.5 Coding for Networks (CONE)

Markus Stinner und Gerhard Kramer

The project objective is the evaluation and development of efficient channel codes and modulations for wireless communications like backhaul and 5G systems.

The physical layer and the medium access control layer of wireless backhaul communications between base stations is not standardized, which predestines them for proprietary solutions. The upcoming transition from fourth to fifth generation wireless systems is an opportunity to move to new codes with better properties than the existing ones.

Up to now, the backhaul links are point-to-point systems which apply coded modulation. During the last years, powerful classes of capacity-achieving codes through iterative decoding like LDPC codes and Turbo codes were invented. Therefore, a class of codes called convolutional

low-density parity-check (CLDPC) codes were evaluated. These codes are a class of spatially coupled LDPC (SC-LDPC) codes that achieve the MAP-threshold with belief propagation decoding for very long block lengths. It can be expected that the combination of efficient LDPC codes and network coding can significantly enhance the performance of existing wireless backhauls.

During the project, an overview of existing coding schemes and results was gathered, including non-binary LDPC codes. A channel model for the wireless backhaul channel was introduced and an EXIT chart analysis for infinite block lengths was reviewed, as well as finite-length scaling results. Finally, advantages of the various CLDPC constructions and the trade-offs between different code parameters were examined.

**Project Implementation:**  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

**Funding Period:**  
01.06.2012–30.06.2013

**Reporting Period:**  
01.10.2012–30.06.2013

**Funding Agency:**  
Alcatel-Lucent Deutschland AG

**Project Partner:**  
Prof. Stephan ten Brink, Alcatel-Lucent Deutschland AG, Bell Labs Germany (jetzt: Universität Stuttgart)



- Project Implementation:**  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
- Funding Period:**  
01.10.2012–30.09.2014
- Reporting Period:**  
01.10.2012–30.09.2014
- Funding Agency:**  
Deutsche Forschungsgemeinschaft
- Project Partners:**  
Members of the DFG research group *Multiport Communication Systems*

## 7.6 Multiport Communication Systems

Andrei Nedelcu and Gerhard Kramer

The objective of this research project (duration: two years) is the evaluation of limits of communications over channels with compact antenna arrays.

The development of future communications standards will focus on increasing the number of antenna elements at both ends of the communication links in an effort to provide more reliable and high-throughput transmissions. However, ubiquitous integration of access points and implementation of handheld mobile terminals will require that these antennas to be packed as close as possible.

There are several hurdles when one tries to apply information theory to real-world problems. The most important of these is to find the right channel model to work with. The channel model includes:

- all forms of noise (noise at the transmitter and receiver, interference, etc.),

- time variations (fading statistics) and memory (frequency selectivity),
- signalling constraints (energy, bandwidth, antennas and modulation),
- receiver constraints (amplification, quantization, mismatch),
- other parameters such as what knowledge is available at the terminals (channel state information at transmitters and receivers).

One goal of this project is to develop models that include all relevant disturbance sources and limitations imposed by realistic hardware but still amendable to capacity analysis or approximations.

Further on, we would like to optimize the capacity of deterministic and stochastic channels that include the constraints imposed by signal generation, transmitter and receiver impedance-matching circuits and transmitter, channel and receiver noise statistics.

## 7.7 Fiber-Optic Communication and Information Theory

- Luca Barletta and Gerhard Kramer**
- Project Implementation:**  
Technische Universität München
- Funding Period:**  
01.11.2012 – 15.01.2015
- Reporting Period:**  
01.11.2012 – 30.09.2014
- Funding Agency:**  
Institute for Advanced Study
- Project Partner:**  
Prof. René-Jean Essiambre, Bell Labs, Holmdel, NJ, USA

Coherent demodulation of advanced modulation formats is a hot topic for optical transmission systems. The lasers used for signal up- and down-conversion introduce phase noise that can be modeled as a Brownian motion, which is a random process with memory. The interaction between the data signal and phase noise makes the problem of estimating the capacity challenging.

We studied the impact of phase noise on the achievable rates of discrete-time channels through sophisticated numerical upper and lower bounds on the mutual information rates between the input and the output of the phase noise channel. The numerical bounds are tight in the range of signal-to-noise ratios (SNRs) of interest.

For large laser linewidths, the discrete-time model is inaccurate because it does not account for the amplitude fading that arises at the output of the receive filter. The model with the amplitude fading captures the continuous-time nature of the phase noise, and it has a different behavior with respect to the discrete-time model, especially at high SNR. We studied an analytical upper bound to the capacity of discrete- and continuous-time phase noise channels at high SNR, and partially characterized the capacity pre-log. It turns out that the capacity pre-log depends on the oversampling factor, and that the oversampling factor should scale as  $\text{SNR}^p$  in order to have a capacity pre-log upper-bounded by  $(1+p)/2$ , for  $0 < p \leq 1$ .

## 7.8 Streaming, Multiaccess and Broadcast

Roy Timo and Gerhard Kramer

The proliferation of wireless communications devices presents significant performance challenges for cellular networks, and it will require more sophisticated heterogeneous networks in the near future.

A powerful methodology for improving performance is centered on the idea of base-station (BS) cooperation: Instead of operating independently, future BSs will coordinate encoding and decoding operations using information shared over backbone networks. The tremendous potential of BS cooperation in theory and practice has been widely demonstrated. However, despite such advances, there remains significant challenges in understanding and exhausting the benefits of cooperation. Indeed, the fundamental limits of cooperation are fully understood in few settings.

To help understand the full potential of BS cooperation, we studied the information-theoretic limits of a simple, but rather useful, broadcast model. The setup for two receivers is shown in the figure. A source  $X$  is to be reliably transmitted over a broadcast channel to many receivers, and the basic idea is to improve network

performance by allowing the receivers to be assisted by helper BSs. In a future heterogenous network, for example, the helpers may be pico or femto BSs operating within the main macro cell on orthogonal channels. Alternatively, the helpers may be WiFi hotspots through which traffic is diverted from a heavily loaded cellular network.

We assumed that the broadcast channel from the main BS is discrete and memoryless, and that the channels from the helper BSs are noiseless and rate-limited. Although this setup does not capture all modes of cooperation, it nevertheless has enough sophistication to provide insight into some important coding challenges. For example, consider the idea of augmenting traffic flow in a cellular network via a WiFi hotspot: The hotspot's radio-access technology is orthogonal to that of the cellular network, and a cellular network engineer can well approximate the WiFi link by a noiseless rate-limited channel.

A natural question is then: What coding techniques at the BSs and WiFi hotspot yield the best overall performance?



We showed that the following approach to BS cooperation is optimal in two rather general settings: Use a good list code on the broadcast channel, and task the helper BS( $k$ ) with helping receiver  $k$  determine which element of its decoded list is equal to the source  $X$ .

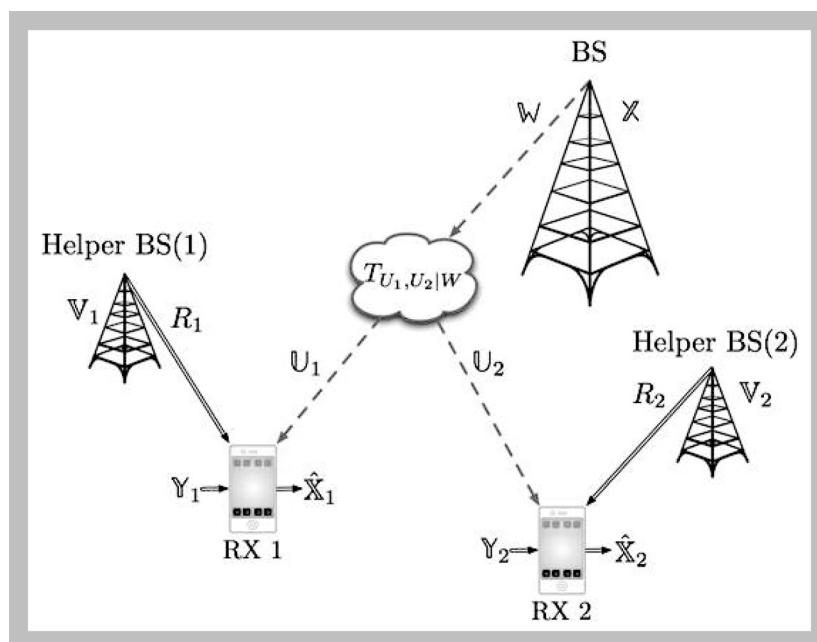
**Project Implementation:**  
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

**Funding Period:**  
01.05.2014–30.04.2016

**Reporting Period:**  
01.05.2014–30.09.2014

**Funding Agency:**  
Alexander von Humboldt  
Foundation

**Project Partners:**  
– The University of South  
Australia  
– Telecom ParisTech



Broadcasting with helpers BS(1), BS(2) and receiver side information



**Project Implementation:**  
Technische Universität München

**Funding Period:**  
01.12.2012 – 15.01.2015

**Reporting Period:**  
01.12.2012 – 30.09.2014

**Funding Agency:**  
TUM Institute for Advanced Study

**Project Partner:**  
Prof. F. Kschischang, University of  
Toronto, Canada

## 7.9 Information Theory of Optical Fiber

Mansoor I. Yousefi and Gerhard Kramer

The data rate requirements of core networking applications is doubling approximately every 18 months. To support high bandwidth applications in the future, terabits per second per wavelength optical links will soon be needed. The usable wavelength window of optical fibers is around 1.2–1.7  $\mu\text{m}$  when photonic devices typically operate at a much smaller bandwidth of few tera-Hertz. Sooner or later we will exhaust the practical bandwidth of optical fiber systems. It is therefore important to investigate methods that scale the capacity of optical fiber for future communication systems.

Forty years after the introduction of the optical fiber, it is still unclear what is the fundamental limit for this channel. Determining the capacity of fiber-optic channels has remained an open and challenging problem because signal propagation in silica glass is governed by the stochastic

nonlinear Schrödinger (NLS) equation, which causes signal and noise to interact in a complicated way and is hard to understand. This is a partial differential equation with dispersion, nonlinearity and noise. In particular, the Kerr nonlinearity makes many familiar mathematical tools inapplicable.

To help understand the limitations that Kerr nonlinearity imposes on achievable communication rates, we look at the fiber as a cascade of a large number of small pieces of discrete fiber segments. Under simplifying assumptions, this gives rise to a discrete model for the optical fiber. We obtain bounds on the capacity of this channel model, and characterize the capacity-achieving input distribution.

We are currently studying the information theory of continuous-time models of optical fiber. You can find more details on p. 71.

## 7.10 Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Beril Inan and Norbert Hanik

**Project Implementation:**  
Fachgebiet Leitungsgebundene  
Übertragungstechnik

**Funding Period:**  
01.11.2009 – 15.01.2015

**Reporting Period:**  
01.12.2012 – 30.09.2014

**Funding Agency:**  
Nokia Siemens Networks GmbH

**Project Partner:**  
Dr. Bernhard Spinnler, NSN

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) has emerged as a promising modulation technique in the optical communication area. Coherent optical OFDM (CO-OFDM) is one of the modulation formats that have been proposed to overcome limitations due to linear transmission impairments such as chromatic dispersion (CD), polarization mode dispersion (PMD) and differential modal delay (DMD). In addition, CO-OFDM offers a well-defined spectrum that limits linear crosstalk.

In this project, different aspects of optical OFDM have been investigated. A novel nonlinearity compensation technique that uses an RF-pilot was introduced. A real time OFDM transmitter was implemented for 100 Gbit/s data rate with field-

programmable gate arrays (FPGAs). The algorithms in FPGAs include not only the fast Fourier transform and equalization required for the OFDM, but also laser phase noise compensation and some other features.

Few mode fibers (FMF) recently drew attention as a promising technology for capacity expansion. However, due to the differential modal delay (DMD) between the propagating modes in a FMF, the equalizer complexity is significantly higher than in a SMF. The equalizer complexity of mode division multiplexed coherent receivers was analyzed.

Finally, several transmission experiments using the OFDM with FMF and FMF amplifiers have been carried out. The results of this project were published in numerous journal- and conference proceedings.

## 7.11 Architekturen, Technologien, Offene Netzinfrastruktur für das optische Breitbandzugangsnetz (ATOB)

**Yingkan Chen and Norbert Hanik**

Ziel des Projektes ATOB war es, die Anforderungen an Zugangsnetze der übernächsten Generation (*Next Generation Optical Access, NGOA*) zu identifizieren und geeignete Ansätze für die Realisierung entsprechender optischer Teilnehmerzugangsnetze bereitzustellen.

ATOB konzentriert sich im Technikansatz auf Lösungen basierend auf *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), die derzeit ein viel versprechendes Thema im optischen Zugangsbereich sind und etwa ab 2015 implementiert werden könnten. Die in Funknetzen bereits erfolgreich eingesetzte Technologie hat ein enormes Potential für NGOA und wird als leistungsfähige Lösung eingeschätzt, mit der sowohl Zugangsnetze als auch Inhausnetze optisch realisiert werden können.

In enger Zusammenarbeit mit der Universität Kiel wurden Konzepte für die optische OFDM-Übertragung

im Downlink (von der Vermittlungsstelle zum Kunden) und im Uplink (vom Kunden zur Vermittlungsstelle) entwickelt und in Computersimulationen und Laborexperimenten optimiert. Die Grenzen für Kapazität und Reichweite solcher Systeme konnten so umfassend untersucht werden. Hier wurden sowohl aufwands- und kostengünstige Systeme mit Direktdetektion als auch aufwändigere und leistungsfähigere Systeme mit kohärentem Empfang betrachtet.

Abschließend erfolgte eine Realisierung des im Projekt entwickelten Systemkonzeptes in einem Systemdemonstrator auf verlegter Faserinfrastruktur der Deutschen Telekom in Raum Berlin.

Die Ergebnisse wurden in einem vielbeachteten Beitrag auf der *Optical Fiber Communications Conference* (OFC) 2014 in San Francisco veröffentlicht.



**Projektdurchführung:**  
Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

**Projektzeitraum:**  
01.08.2010-31.12.2013

**Berichtszeitraum:**  
01.10.2012-31.12.2013

**Drittmittelförderung:**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

**Projektpartner:**  
Deutsche Telekom AG, HHI Berlin, CAU Kiel, TU Dortmund, Universität Stuttgart, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg u.a.

## 7.12 Flexibilisierung und Vereinfachung des Fahrzeugkabelbaums (FlexKab)

**Elisabeth Georg und Norbert Hanik**

**Projektdurchführung:**  
Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

**Projektzeitraum:**  
01.04.2010 – 31.03.2013

**Berichtszeitraum:**  
01.10.2012 – 31.03.2013

**Drittmittelförderung:**  
BMW Group Forschung und Technik

**Projektpartner:**

- Dr. Kellermann, BMW ZT-4
- Martin Blesinger, Lehrstuhl für Hochstfrequenztechnik, TUM
- Thomas Gehrsitz, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, TUM
- Georg Schnattinger und Dennis Schobert, beide Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik, TUM

In diesem Projekt über insgesamt drei Jahre wurden neuartige Systeme für die Datenübertragung innerhalb des Fahrzeugs entwickelt und untersucht, die auf den gezielten Einsatz von Technologien zur kombinierten Übertragung von elektrischer Energie und Daten (*Power Line Communication, PLC*) sowie auf drahtlose Kommunikationsverbindungen aufbauen. Dadurch werden hauptsächlich zwei Ziele verfolgt:

- Die Anzahl der notwendigen Kabelfverbindungen sollen verringert werden.
- Die Flexibilität des Kabelbaums wird erhöht, und zwar hinsichtlich jeder Art von Veränderungen oder Erweiterungen, die entweder während der Fertigung oder nach Auslieferung des Fahrzeugs vorzunehmen sind.

Im Berichtszeitraum wurde die Modellierung des Übertragungskanals über unterschiedliche Leitungen des Kabelbaums im KfZ umfassend untersucht. Besondere Bedeutung hat hier die Modellierung der Batterie, der vielfältigen Abzweigleitungen sowie der Abschlusswiderstände der Steuergeräte (Control Units). Mit den entwickelten Kanalmodellen wurden Simulationen zur Leistungsbewertung unterschiedlicher Modulationsverfahren im Kfz durchgeführt. Parallel wurde ein FPGA-basierter Demonstrator für unidirektionale PLC-basierte Datenübertragung bei einer Trägerfrequenz von 10 MHz implementiert.

Das Projektende war bereits vor 18 Monaten. Die Arbeiten werden jedoch derzeit und auch in nächster Zukunft eigenständig fortgeführt.



**Project Implementation:**  
Fachgebiet Leitungsgebundene  
Übertragungstechnik

**Funding Period:**  
01.05.2013 – 30.04.2016

**Reporting Period:**  
01.05.2013 – 30.09.2014

**Funding Agency:**  
Coriant GmbH & Co KG

**Project Partner:**  
Dr. B. Spinnler, Coriant

## 7.13 Transmitter-based Equalization of Linear and Nonlinear Distortions of Optical Components

**Ginni Khanna and Norbert Hanik**

Optical communication systems are an essential part of the transport infrastructure, which are capable of providing high speed internet and data services. The transmitter of a typical optical communication system consists of a digital signal processor, which generates the digital data with required modulation format for transmission over the optical fiber. The digital-to-analog converter (DAC) converts the digital bits into the corresponding analog forms. The driver amplifiers amplify the incoming analog data and are responsible for providing a linear peak to peak voltage to the Mach-Zehnder modulator (MZM). After modulation of the light wave (from the laser) by the MZM, the modulated symbols are transmitted over the optical fiber.

Each of the elements in the transmitter, however, is not ideal and suffers from certain linear and non-

linear impairments and memory effects. One solution to overcome the effects of imperfect components of the transmitter is to implement DSP techniques at the transmitter. In such a setup, signal pre-distortion techniques are implemented to obtain a better system performance. In order to come up with a model for the pre-distorter, it is essential to first study the characteristics of the non-linear system and come up with a model capturing all the effects.

One such study was carried out for the driver amplifier used in optical communication systems to drive the MZM. In such an approach, the driver amplifier was modeled by using a non-linear memory polynomial model such as the Volterra series.

In the next step, we will evaluate various pre-distortion techniques to mitigate the effects of selected components of the transmitter.

# 8

Veröffentlichungen

Patente, Vorträge

## 8.1 Überblick aller Publikationen

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

Im Berichtszeitraum 01.10.2012 – 30.09.2014 haben der *Lehrstuhl für Nachrichtentechnik* (LNT) und das Fachgebiet *Leitungsgebundene Übertragungstechnik* (LÜT) folgende Publikationen zu vermelden, die in den nachfolgenden Kapiteln 8.2 – 8.8 aufgeführt sind:

- **Fünf Dissertationen** (*Ph.D. Theses*) – LNT: 2, LÜT: 3
- **21 Zeitschriftenbeiträge** (*Journal Publications*) – LNT: 15, LÜT: 6
- **48 Konferenzbeiträge** (*Conference Publications*) – LNT: 32, LÜT: 16
- **19 Posterbeiträge** auf Konferenzen – LNT: 17, LÜT: 2
- **Sieben Patente** – alle LNT
- **Zwei Technische Berichte** (*Technical Reports*) – alle LNT
- **43 Vorträge** (*Talks*) – LNT: 35, LÜT: 8

## 8.2 Dissertationen

Lutz, T.: Coding for Half-Duplex Relay Networks and the Trapdoor Channel. – **LNT**  
In: *mediatum.ub.tum.de/node?id=1231171 (online)*

Thakur, M.: Relay Positioning for Multicast Relay Networks. – In: *Verlag Dr. Hut, München*, ISBN 978-3-8439-1542-7

Gaete, O.: Optimization of Wavelength Division Multiplexed Optical Communication at 100 Gb/s using Phase Modulation and Direct Detection. – In: *Verlag Dr. Hut, München*, ISBN 978-3-8439-1697-4 **LÜT**

Inan, B.: Applications of Orthogonal Frequency Divioson Multiplexing for Long-Haul Optical Transmission Systems. – In: *Verlag Dr. Hut, München*, ISBN 978-3-8439-1726-1

Roppelt, M.: Control, Monitoring and Management of a WDM-PON using Pilot Tones. – In: *mediatum.ub.tum.de/node?id=1175879 (online)*

## 8.3 Zeitschriftenaufsätze

Barletta, L.; Bergamelli, F.; Magarini, M.; Carapellese, N.; Spalvieri, A.: Pilot-aided Trellis-based Demodulation. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 13, pp. 1234–1237, Jul 2013 **LNT**

Barletta, L.; Borgonovo, F.; Cesana, M.: A Formal Proof of the Optimal Frame Setting for Dynamic-frame Aloha with Known Population Size. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 11, pp. 7221–7230, Nov 2014

Barletta, L.; Disaro', R.; Magarini, M.; Spalvieri, A.: Post-filter Optimization in Timing Recovery based on Square-law Detection. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 9, pp. 821–824, May 2013

Barletta, L.; Magarini, M.; Pecorino, S.; Spalvieri, A.: Upper and Lower Bounds to the Information Rate Transferred through First-order Markov Channels with Free-running Continuous State. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 7, pp. 3834–3844, Jul 2014

Barletta, L.; Magarini, M.; Scardoni, F.; Spalvieri, A.: Impact of Loop Delay on the Performance of Gardner Timing Recovery. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 18, pp. 1797–1800, Sep 2013

Barletta, L.; Magarini, M.; Spalvieri, A.: Bridging the Gap between Kalman Filter and Wiener Filter in Carrier Phase Tracking. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 11, pp. 1035–1038, Jun 2013

Böcherer, G.: Labeling Non-Square QAM Constellations for One-Dimensional Bit-Metric Decoding. – In: *IEEE Communications Letters*, vol. 18, no. 9 pp. 1515–1718, Sep 2014

Koch, T.; Kramer, G.: On Noncoherent Fading Relay Channels at High Signal-to-Noise Ratio. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 4, pp. 2221–2241, Apr 2013

Koetter, R.; Effros, M.; Médard, M.: A Theory of Network Equivalence – Part II: Multiterminal Channels. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 7, pp. 3709–3732, Jul 2014

Kramer, G.: Information Networks with In-block Memory. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 4, pp. 2105–2120, Apr 2014

Kschischang, F.R.; Lutz, T.: A Constrained Coding Approach to Error-Free Half-Duplex Relay Networks. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 10, pp. 6258–6260, Oct 2013

Lutz, T.: Various Views on the Trapdoor Channel and an Upper Bound on its Capacity. – Submitted to: *IEEE Inf. Theory*, 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Prabhakaran, V.: Is Non-Unique Decoding Necessary? – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 5, pp. 2594–2610, May 2014

Spalvieri, A.; Boffi, P.; Pecorino, S.; Barletta, L.; Magarini, M.; Gatto, A.; Martelli, P.; Martinelli, M.: Analog Nonlinear MIMO Receiver for Optical Mode Division Multiplexing Transmission. – In: *Optics Express*, vol. 21, no. 21, pp. 25174–25183, Oct 2013

Timo, R.; Grant, A.; Kramer, G.: Lossy Broadcasting with Complementary Side Information. – In: *Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 1, pp. 104–131, Jan 2013

## LÜT

Adhikari, S.; Jansen, S.; Kuschnerov, M.; Gaete, O.; Inan, B.; Bohn, M.; Rosenkranz, W.: Analysis of Spectral Shaping on DFT-OFDM. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 3, Mar 2013



Adhikari, S.; Jansen, S.; Kuschnerov, M.; Inan, B.; Bohn, M.; Rosenkranz, W.: Investigation of Spectrally Shaped DFTS-OFDM for Long Haul Transmission. – In: *Optics Express*, vol. 20, no. 26, Dec 2012

Ferreira, F.; Fonseca, D.; Lobato, A.; Inan, B.; Silva, H.: Reach Improvement of Mode Division Multiplexed Systems using Fiber Splices. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 12, Dec 2013

Jung, Y.; Kang, Q.; Sleiffer, V. A. J. M.; Inan, B.; Kuschnerov, M.; Veljanovski, V.; Corbett, B.; Winfield, R.; Li, Z.; The, P. S.; Dhar, A.; Sahu, J.; Poletti, F.; Alam, S. -U.; Richardson, D. J.: Three Mode Er3+ Ring-doped Fiber Amplifier for Mode-division Multiplexed Transmission. – In: *Optics Express*, vol. 21, no. 8, Apr 2013

Lobato, A.; Ferreira, F.; Inan, B.; Adhikari, S.; Kuschnerov, M.; Napoli, A.; Spinnler, B.; Lankl, B.: Maximum-Likelihood Detection in Few-Mode Fiber Transmission with Mode-Dependent Loss. – In: *IEEE Photonics Technol. Letters*, vol. 25, no. 12, Dec 2013

Sleiffer, V.A.J.M.; Jung, Y.; Veljanovski, V.; R.G.H. van Uden, V.; Kuschnerov, M.; Chen, H.; Inan, B.; Grüner-Nielsen, L.; Sun, Y.; Richardson, D.J.; Alam, S.U.; Poletti, F.; Sahu, J.K.; Dhar, A.; Koonen, A.M.J.; Corbett, B.; Winfield, R.; Ellis, A.D.; de Waardt, H.: 73.7 Tb/s (96 x 3 x 256-Gb/s) Mode-Division-multiplexed DP-16QAM Transmission with Inline MM-EDFA. – In: *Optics Express*, vol. 20, no. 26, Dec 2012

## 8.4 Konferenzbeiträge

Amjad, R. A.; Böcherer, G.: Fixed-to-Variable Length Distribution Matching. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, Jul 2013 **LNT**

Barletta, L.; Borgonovo, F.; Filippini, I.: Analysis of Dynamic Frame Aloha with Frame Restart. – In: *13th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET)*, Piran, Slovenia, pp. 150–157, Jun 2014

Barletta, L.; Kramer, G.: On Continuous-time White Phase Noise Channels. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 2426–2429, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Barletta, L.; Kramer, G.: Signal-to-Noise Ratio Penalties for Continuous-time Phase Noise Channels. – In: *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM)*, pp. 232–235, Oulu, Finland, Jun 2014

Barletta, L.; Magarini, M.; Spalvieri, A.: Tight Upper and Lower Bounds to the Information Rate of the Phase Noise Channel. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 2284–2288, Istanbul, Turkey, Jul 2013

Bunte, C.; Lapidoth, A.; Palzer, L.: Coding for the Gaussian Channel with Intermittent Feedback. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 2559–2563, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Böcherer, G.: Optimal Non-Uniform Mapping for Probabilistic Shaping. – In: *9<sup>th</sup> Int. ITG Conf. on Systems, Communications and Coding (SCC)*, Munich, Germany, Jan 2013

Böcherer, G.: Probabilistic Signal Shaping for Bit-Metric Decoding. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Böcherer, G.; Amjad, R. A.: Informational Divergence and Entropy Rate on Rooted Trees with Probabilities. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Böcherer, G.; Amjad, R. A.: Fixed-to-Variable Length Resolution Coding for Target Distributions. – In: *IEEE Information Theory Workshop*, Sevilla, Spain, Sep 2013

Dierks, S.; Amin, M. B.; Zirwas, W.; Haardt, M.; Panzner, B.: The Benefit of Cooperation in the Context of Massive MIMO. – In: *18th Int. OFDM-Workshop (InOWo 14)*, Essen, Germany, Aug 2014

Dierks, S.; Kramer, G.; Zirwas, W.: Feasibility Conditions of Interference Alignment via Two Orthogonal Subcarriers. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 579–583, Istanbul, Turkey, Jul 2013

El Hefnawy, M.; Dietl, G.; Kramer, G.: Spectral Shaping for Faster-than-Nyquist Signaling. – In: *IEEE Int. Symp. Wireless Communication Systems (ISWCS)*, Barcelona, Spain, Aug 2014

El Hefnawy, M.; Taoka, H.: Overview of Faster-Than-Nyquist for Future Mobile Communication Systems. – In: *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2013)*, Dresden, Germany, Jun 2013

Ghozlan, H.; Kramer, G.: On Wiener Phase Noise Channels at High Signal-to-Noise Ratio. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, Jul 2013

Ghozlan, H.; Kramer, G.: Phase Modulation for Discrete-time Wiener Phase Noise Channels with Oversampling at High SNR. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 1554–1557, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Goldfeld, Z.; Permuter, H. H.; Kramer, G.: The Ahlswede-Körner Coordination Problem with One-sided Encoder Cooperation. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 1341–1345, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Günlü, O.; İşcan, O.: DCT Based Ring Oscillator Physical Unclonable Functions. – In: *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Florence, Italy, May 2014

Heindlmaier, M.; Blöchl, C.: The Two-User Broadcast Packet Erasure Channel with Feedback and Memory. – In: *IEEE Int. Symp. Network Coding*, pp. 1–6, Aalborg University, Denmark, Jun 2014

Heindlmaier, M.; İşcan, O.; Rosanka, C.: Scalar Quantize-and-Forward for Symmetric Half-duplex Two-Way Relay Channels. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, Jul 2013

Heindlmaier, M.; Munari, A.; Liva, G.; Berioli, M.: Index Coding for Unicast Flows in Interactive Satellite Networks. – In: *Advanced Satellite Multimedia Systems Conf.*, Livorno, Italy, Sep 2014

Heindlmaier, M.; Reyhanian, N. Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Region of Two-User Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. – In: *52<sup>nd</sup> Annual Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, Urbana-Champaign, IL, USA, Sep 2014

Hou, J.; Kramer, G.: Informational Divergence Approximation to Product Distributions. – In: *13th Can. Workshop on Inf. Theory*, Toronto, ON, Canada, Jun 2013



Hou, J.; Kramer, G.: Effective Secrecy: Reliability, Confusion, and Stealth. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 601–605, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Lutz, T.: Recursions for the Trapdoor Channel and an Upper Bound on its Capacity. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Munari, A.; Heindlmaier, M.; Liva, G.; Berioli, M.: The Throughput of Slotted Aloha with Diversity. – In: *51st Annual Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, pp. 698–706, Urbana-Champaign, IL, USA, Oct 2013

Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: An Application of a Wringing Lemma to the Multiple Access Channel with Cooperative Encoders. – In: *IEEE Iran Workshop Commun. Inf. Theory*, Tehran, Iran, May 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: Capacity Bounds for a Class of Diamond Networks. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, pp. 1196–1200, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Prabhakaran, V.; Diggavi, S.: A Block Markov Encoding Scheme for Broadcasting Nested Message Sets. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, Jul 2013

Spalvieri, A.; Boffi, P.; Pecorino, S.; Magarini, M.; Gatto, A.; Martelli, P.; Martinelli, M.; Barletta, L.: Direct Detection Analog Nonlinear MIMO for Mode-division Multiplexing in Fiber. – In: *Fotonica 2013*, Milano, Italy, May 2013

Stinner, M.; Olmos, P.: Analyzing Finite-length Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Honolulu, HI, USA, Jun 2014

Thakur, M.; Kramer, G.: Relay Positioning for Multicast Relay Networks. – In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Istanbul, Turkey, Jul 2013

Chen, Y.; Hanik, N.: Enhanced Sampling Frequency Offset Compensation Algorithm for PDM CO-OFDM Transmission System. – In: *39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)*, London, UK, Sep 2013

LÜT

Chen, Y.; Lobato, A.; Jung, Y.; Chen, H.; Inan, B.; Sleiffer, V.A.J.M.; Kuschnерov, M.; Jensen, R.V.; Sun, Y.; Grüner-Nielsen, L.; Giles, I.P.; Chen, R.; Garcia-Munoz, V.; Fontaine, N. K.; Ryf, R.; Alam, S.U.; Richardson, D.J.; Koonen, A.M.J.; Lankl, B.; Hanik, N.: 41.6 Tb/s C-band SDM OFDM Transmission through 12 Spatial and Polarization Modes over 74.17 km Few Mode Fiber. – In: *40th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)*, Cannes, France, Sep 2014

Chen, Y.; Ruprecht, C.; Rosenkranz, W.; Hanik, N.: Power Budget Improvement for Coherent Optical-OFDM Access Upstream Transmission using TCM with Constellation Shaping (Invited). – In: *16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Graz, Austria, Jul 2014

Chen, Y.; Ruprecht, C.; Rosenkranz, W.; Hanik, N.: Fiber Nonlinearity Compensation for Dispersion Unmanaged PDM 8-QAM CO-OFDM using Expectation Maximization. – In: *18th OptoElectronics and Communication Conference (OECC)*, Kyoto, Japan, Jul 2013

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Comparison of Performance Limits by Mutual Information and Practical Realizations for Optical Long-Haul Coded Modulation Communication Systems. – In: *15th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Cartagena, Spain, Jun 2013

# 8

Veröffentlichungen  
Patente, Vorträge

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Information Quality (IQ) Factor as Soft-Decision Decoding Threshold for Optical Communications. – In: *39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)*, London, UK, Sep 2013

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Estimates of Constrained Coded Modulation Capacity for Optical Networks. – In: *15. ITG Fachtagung Photonische Netze*, Leipzig, Germany, May 2014

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Digital Back-Propagation of a Super Channel: Achievable Rates and Adaption of the GN Model. – In: *40th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)*, Cannes, France, Sep 2014

Georg, E.; Hanik, N.: Impact of System Components on an Automotive PLC Channel. – In: *80th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Vancouver, Vancouver, BC, Canada, Sep 2014

Inan, B.; Igarashi, K.; Spinnler, B.; Tsuritani, T.; Hanik, N.: Comparison of DSP Equalizer Complexity between Strongly and Weakly Coupled Few Mode Fiber Transmission Systems. – In: *18th OptoElectronics and Communication Conference (OECC)*, Kyoto, Japan, Jul 2013

Inan, B.; Jansen, S.L.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; van den Borne, D.; Kuschnerov, M.; Lobato, A.; Adhikari, S.; Sleiffer, V.A.J.M.; Hanik, N.: DSP Requirements for MIMO Spatial Multiplexed Receivers (Invited). – In: *IEEE Photonics Summer Topicals*, Seattle, WA, USA Jul 2012

Inan, B.; Jung, Y.; Sleiffer, V.A.J.M.; Kuschnerov, M.; Grüner-Nielsen, L.; Adhikari, S.; Jansen, S.L.; Richardson, D. J.; Alam, S.-U.; Spinnler, B.; Hanik, N.: Low Computational Complexity Mode Division Multiplexed OFDM Transmission over 130 km of Few Mode Fiber. – In: *Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC)*, Anaheim, CA, USA, Mar 2013

Jung, Y.; Sleiffer, V.A.J.M.; Inan, B.; Kuschnerov, M.; Veljanovski, V.; Corbett, B.; Winfield, R.; Kang, Q.; Dhar, A.; Sahu, J.; Poletti, F.; Alam, S. U.; Richardson, D. J.: Multimode EDFA Performance in Mode-Division Multiplexed Transmission Systems. – In: *Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC)*, Anaheim, CA, USA, Mar 2013

Ruprecht, C.; Chen, Y.; Fritzsche, D.; von Hoyningen-Huene, J.; Hanik, N.; Weis, E.; Breuer, D.; Rosenkranz, W.: 37.5-km Urban Field Trial of OFDMA-PON using Colorless ONUs with Dynamic Bandwidth Allocation and TCM (Invited). – In: *Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC)*, San Francisco, CA, USA, Mar 2014

Ruprecht, C.; Chen, Y.; Fritzsche, D.; von Hoyningen-Huene, J.; Hanik, N.; Weis, E.; Breuer, D.; Rosenkranz, W.: Field Trial of an OFDMA-PON System (invited). – In: *16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Graz, Austria, Jul 2014

Ruprecht, C.; Habel, K.; von Hoyningen-Huene, J.; Chen, Y.; Hanik, N.; Rosenkranz, W.: Timing Advance Tracking for Coherent OFDMA-PON Upstream System. – In: *Asia Communications and Photonics Conference (ACP 2013)*, Beijing, China, Nov 2013

## 8.5 Poster

LNT

Barletta, L.: Bounds on the Information Rate of Markov Channels with Free-running Continuous State. – In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Tallinn, Estonia, Apr 2014



Bartz, H.: On the Locality of Codeword Symbols. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Bartz, H., Wachter-Zeh, A.: Interpolation-Based Decoding of Interleaved Subspace Codes for Network Coding. – In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Tallinn, Estonia, Apr 2014

Brauchle, J.: Erasure Decoding of Gabidulin Codes. – In: *Trends in Coding Theory*, Ascona, Switzerland, Dec 2012

Brauchle, J.: Inversion of Moore Matrices using Composition of Linearized Polynomials. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Böcherer, G.: Block-to-Block Distribution Matching. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Dierks, S.; Kramer, G.; Zirwas, W.: Feasibility Conditions for Interference Alignment over Sub-carriers. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

El Hefnawy, M.: Faster-Than-Nyquist Criterion Signaling. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

El Hefnawy, M.; Kramer, G.: Impact of Spectrum Sharing on the Efficiency of Faster-than-Nyquist Signaling. – In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Istanbul, Turkey, Apr 2014

Ghozlan, H.; Kramer, G.: Multi-sample Receivers Increase Information Rates for Wiener Phase Noise Channels. – In: *IEEE Globecom 2013*, Atlanta, GA, USA, Dec 2013

Günlü, O.: Frequency Domain Analysis of Physical Unclonable Functions. – In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Tallinn, Estonia, Apr 2014

Heindlmaier, M.; İşcan, O.: Quantizer Design for the Two-Way Relay Channel. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Hou, J.; Kramer, G.: Resolvability, Coordination and Secrecy. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Kramer, G.: Networks with in-Block Memory. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Saeedi Bidokhti, S.; Prabhakaran, V.; Diggavi, S.: A Block Markov Encoding Scheme for Broadcasting Nested Message Sets. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Stinner, M.: Finite-Length Scaling of Convolutional Protographs. – In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Ohrid, Republic of Macedonia, Apr 2013

Stinner, M.; Olmos, P.: Finite-Length Scaling of Convolutional LDPC Codes. – In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Tallinn, Estonia, Apr 2014

Fehenberger, T.: Performance Estimate of Soft Decision Decoding for Optical Communications. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

Georg, E.: In-vehicle PLC Channel: Model and Analysis. – In: *16th Joint Conference on Communications and Coding*, Holzgau, Austria, Mar 2013

## 8.6 Patente

Ashikhmin, A.; van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Maes, J.; Nuzman, C.; Posthuma, C.; van Bruyssel, D.; Verlinden, J.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Optimizing Precoder Settings using Average SINR Reports for Groups of Tones. *U.S. patent 8830812*, Sep 2014

### LNT

Ashikhmin, A.; van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Nuzman, C.; Whiting, P.: Fast Seamless Joining of Channels in a Multi-channel Communication System. *U.S. patent 8,300,518*, Oct 2012

Ashikhmin, A.; van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Interpolation Method and Apparatus for Increasing Efficiency of Crosstalk Estimation. *U.S. patent 8,300,726*, Oct 2012

Brauchle, J.; Kötter, R.: Systematic Encoder with Arbitrary Parity Positions. *U.S. patent 8347190 B2*, Jan 2013

Kramer, G.: Network Relay Having Dynamically Selectable Receive and Transmit Channel Intervals and Method of Operating the Same. In: *U.S. patent 8,089,880*, Jan 2012

Kramer, G.; Nuzman, C.: Simultaneous Estimation of Multiple Channel Coefficients using a Common Probing Sequence. *U.S. patent 8,218,419*, Jul 2012

van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Nuzman, C.; Whiting, P.: Communication System for Transmitting Sync-flags and Pilot Symbols and Method Thereof. *U.S. patent 8630383*, Jan 2014

## 8.7 Technische Berichte

### LNT

Heindlmaier, M.; İşcan, O.: Rate-Distortion Properties of Single-Layer Quantize-and-Forward for Two-Way Relaying. *Technical Report*, arXiv: 1402.0313, Feb 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: Capacity Bounds for a Class of Diamond Networks. *Technical Report*, Jan 2014

## 8.8 Vorträge

### LNT

Böcherer, G.: Probabilistic Shaping and Channel Coding in Gaussian Noise. *LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, TU München, Jul 2014

Dierks, S.: Interference Management and Cooperation in Local Area Scenarios. *Sitzung der Fachgruppe »Angewandte Informationstheorie« des ITG Fachausschusses 5.1.*, Darmstadt, Germany, Apr 2014

Günlü, O.: Design and Analysis of DCT based Ring Oscillator Physical Unclonable Functions. *Hardware-Intrinsic Security Seminar*, Eindhoven, The Netherlands, Sep 2014

Heindlmaier, M.: Hybrid-ARQ vs. RaptorQ: Whether and Where to Code. – *Bell Labs Math Seminar*, Murray Hill, NJ, USA, Mar 2013

Heindlmaier, M.: Quantize & Forward for Half-duplex Two-Way Relay Channels. *Qualcomm Innovation Fellowship Meeting*, Nürnberg, Germany, Jan 2014

İşcan, O.: Network Coding for Satellite Communications. *ITR Seminar*, University of South Australia, Adelaide, Australia, Mar 2014

Kramer, G.: More on Networks with in-Block Memory. *Inf. Theory Appl. Workshop*, San Diego, CA, USA, Feb 2013

Kramer, G.: Short Message Noisy Network Coding. *Eur. School Inf. Theory*, Ohrid, Republic of Macedonia, Apr 2013

Kramer, G.: Information Theory for Wireless Networks with in-Block Memory. *4th Nordic Workshop on Systems and Network Optimization for Wireless (SNOW)*, Ylläs, Finland, Apr 2013

Kramer, G.: Information Theory for Networks with in-Block Memory. *Iran Workshop on Commun. and Inf. Theory*, Tehran, Iran, May 2013

Kramer, G.: Information Theory for Networks with in-Block Memory. – *Rényi Institute*, Budapest, Hungaria, Jun 2013

Kramer, G.: Short Message Noisy Network Coding. *Black Sea Conf. Commun. Network*, Batumi, Georgian Republic, Jul 2013

Kramer, G.: Multi-sample Receivers Increase Information Rates for Phase Noise Channels. *University of British Columbia*, Vancouver, BC, Canada, Aug 2013

Kramer, G.: Broadcast with Receiver Side Information. *Workshop on Information-theoretic and Coding Aspects for Distributed Source Coding and Storage in Networks*, Paris, France, Nov 2013

Kramer, G.: Multi-terminal Information Theory for Channels with Block Fading and Fast Feedback. *GlobalSIP*, Austin, TX, USA, Dec 2013

Kramer, G.: Network Coding for Line networks with Broadcast Channels. *2014 Sino-German Workshop*, Shenzhen, China, Mar 2014

Kramer, G.: Network Coding and Edge-cut Bounds for Line Networks. *Iran Workshop on Communication and Information Theory*, Tehran, Iran, May 2014

Kramer, G.: On Networks with In-block Memory and Feedback. *Int. Workshop on Advances in Communications*, Boppard, Germany, May 2014

Kramer, G.; Ghozlan, H.: Information Rates for Phase Noise Channels. *Docomo Eurolabs*, Munich, Germany, Jul 2014

Kramer, G.; Ghozlan, H.: Multi-sample Receivers Increase Information Rates for Phase Noise Channels. *University of Tehran*, Iran, May 2013

Kramer, G.; Ghozlan, H.: Information Rates for Phase Noise Channels. *ISCCSP*, Athens, Greece, May 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Short Message Noisy Network Coding. *DLR Workshop on Random Access*, Wessling, Germany, Jun 2013

Kramer, G.; Hou, J.: Variations on Network Coding for Wireless Communications. *METIS Meeting*, Munich, Germany, Jun 2013

Kramer, G.; Hou, J.: Effective Secrecy: Reliability, Confusion, and Stealth. *Imperial College*, London, UK, Jan 2014



Kramer, G.; Hou, J.: Effective Secrecy: Reliability, Confusion, and Stealth. *Cambridge University*, UK, Jan 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Communication Rates for Secrecy and Stealth. *Inf. Theory Appl. Workshop*, San Diego, CA, USA, Feb 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Communication for Secrecy and Stealth. *University of Stuttgart*, Germany, Apr 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Short Message Noisy Network Coding. *Tarbiat Modares University*, Tehran, Iran, May 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Communication for Secrecy and Stealth. *TU Graz*, Austria, Jun 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Communication for Secrecy and Stealth. *Supelec: Laboratoire de Signaux et Systèmes 40th Anniversary*, Supélec, Paris, France, Jun 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Establishing Strong Secrecy and Stealth over Wyner's Wiretap Channel. *University of Southern California*, Los Angeles, CA, USA SC, Sep 2014

Kramer, G.; Hou, J.: Establishing Strong Secrecy and Stealth over Wyner's Wiretap Channel. *EPFL-UPEMLV Workshop on Information Theory, Random Matrices and Applications*, EPFL, Lausanne, Switzerland, Sep 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Prabhakaran, V.; Diggavi, S.: Broadcasting and Multi-casting Nested Message Sets. *University of Tehran*, Iran, May 2013

Saeedi Bidokhti, S.: On Multicasting Prioritized Messages. *2014 Sino-German Workshop*, Shenzhen, China, Mar 2014

Stinner, M.: Finite-length Behavior of Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes. *LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, TU München, Jul 2014

## LÜT

Chen, Y.: Improvement of the Power budget for NGPON2 via DDO-OFDM. *ATOB Projekt-Workshop*, TU München, Oct 2012

Chen, Y.: Long Haul CO-OFDM transmission. *ATOB Projekt-Workshop*, CAU Kiel, Dec 2012

Chen, Y.: Untersuchung der Kohärenzen Detektion im OFDMA-PON Uplink. *ATOB Projekt-Workshop*, HSU Hamburg, Apr 2013

Chen, Y.: Trellis-Codierte-Modulation, DFT-Spread und Kohärente Detektion im OFDM-PON-Uplink. *ATOB Projekt-Workshop*, TU München, May 2013

Chen, Y.: OFDM-Systemkonzepte im Zugangsnetz. *ATOB Projekt-Workshop*, HHI Berlin, Dec 2013

Chen, Y.: Untersuchung der Systemkapazität des Downlink OFDM-Zugangsnetzes mit Direktempfang und kohärenten Empfänger. *Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1*, Berlin, Feb 2014

Fehenberger, T.: Transinformation als Gütekriterium für optische Übertragungssysteme. *Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1*, Nürnberg, Oct 2012

Hanik, N.: Anwendung Trellis-Codierter Modulation im Zugangsnetz. *ATOB Projekt-Workshop*, CAU Kiel, Jun 2014

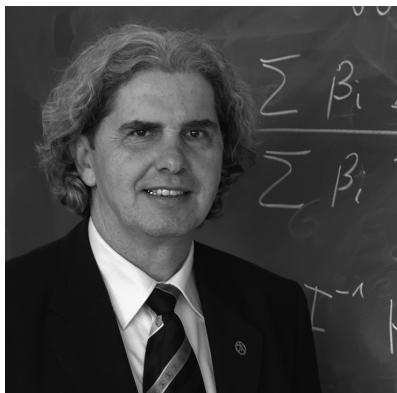
# 9

## Veranstaltungen

### 9.1 UlmTUM Workshop on Coding Theory TU München, 21. Februar 2013

Markus Stinner und Günter Söder

On February 21, 2013, Professor Martin Bossert and several of his scientific staff from Ulm University visited LNT for a Workshop on Coding Theory. The workshop focus was primarily algebraic coding, especially Reed-Solomon codes and Gabidulin codes, but LDPC codes were also considered.



Professor Martin Bossert

The Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der Universität Ulm unter der Leitung von Professor Martin Bossert beschäftigt sich mit vielen Themen, die auch bei den Forschungsarbeiten an unserem Lehrstuhl an der TU München einen breiten Raum einnehmen. Am 21. Februar 2013 gab es einen Workshop mit sieben Teilnehmern aus Ulm und einigen LNT-Mitarbeitern zum gemeinsamen Thema *Algebraische Codierung* mit dem Schwerpunkt auf Reed-Solomon- Codes und Gabidulin-Codes. Behandelt wurden zudem LDPC-Codes.

Nach der Begrüßung und einer Einführung durch Professor Gerhard Kramer gab es neun Kurzbeiträge, nämlich:

- **Mostafa Hosni Mohamed** (ULM): A Chase-like Decoding Algorithm for RS Codes based on the Euclidean Algorithm
- **Hannes Bartz** (TUM): On Locally Repairable Codes
- **Wenhui Li** (ULM): On Decoding of Interleaved Chinese Remainder Codes
- **Alexander Zeh** (ULM): Why do we Need Lowest-code-rate Cyclic Codes with Small Minimum Distances?
- **Markus Stinner** (TUM): Finite-Length Scaling for Low-Density Parity-Check Codes
- **Christian Senger** (ULM): Efficient Welch-Berlekamp Interpolation using Matrix Displacement
- **Joschi Brauchle** (TUM): Erasure Decoding of Gabidulin Codes using Composition of Linearized Polynomials
- **Antonia Wachter-Zeh** (ULM): Bounds on List Decoding of Rank Metric Codes
- **Vladimir Sidorenko** (ULM): On Transform-domain Decoding of Gabidulin Codes

Nach jedem Beitrag gab es ausreichend Zeit für Diskussionen, an denen sich auch unser Gastprofessor Frank Kschischang aus Toronto rege beteiligte.

9.1 UlmTUM Workshop on Coding Theory  
TU München, 21. Februar 2013

9.2 15th Anniversary of the MSCE Program  
TU München, 13. Oktober 2013

9.3 16th Joint Conference on Communications and Coding, 8. bis 10. März 2013, Holzgau, Österreich

9.4 Dies Legendi – Tag der Lehre, TU München, 13. Februar 2014

9.5 Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises, Kronberg im Taunus, 5. April 2014

9.6 LNT & DLR Summer Workshop on Coding  
TU München, 24. Juli 2014

## 9.2 15<sup>th</sup> Anniversary of the MSCE Program TU München, 13. Oktober 2013

**Hannes Bartz, Joachim Hagenauer und Gerhard Kramer**

month period for the completion of a Master's thesis.

Since 1998, 576 students from 58 countries all over the world participated in the program. The program provides the students with a solid background in the theory and fundamental concepts of Communications Engineering, insight into current trends and developments of the field, as well as ample opportunities for practical experience.

The MSCE program celebrated its 15<sup>th</sup> anniversary on October 22, 2013 at the graduation ceremony of the class of 2011–2013. After a welcome address by the Dean Prof. Markus Amann, the President of TUM, Prof. Wolfgang A. Herrmann,

honored the MSCE program as one of the pioneering steps towards the globalization of TUM.

The guest of honor was John G. Proakis, emeritus professor at Northeastern University in Boston and guest professor at the beginning of MSCE. In his commencement speech, he looked back and gave some anecdotes from the first MSCE classes.

At the end of the ceremony the students of the MSCE class of 2011–2013 were awarded their degrees by Prof. Ulf Schllichtmann and Prof. Gerhard Kramer. Three students were honored with academic awards for their outstanding final grade, including our two doctoral candidates Rana Ali Amjad and Onur Günlü.



Von links: Prof. Markus C. Amann (Dekan), Prof. Wolfgang A. Herrmann (TUM-Präsident), Prof. John G. Proakis (Festredner), Prof. Joachim Hagenauer (Mitbegründer des MSCE-Programms)



Von links: Prof. Wolfgang Utschick (Studiendekan), Piyush Khurana (Sprecher des MSCE-Jahrgangs 2011-2013), Prof. Ulf Schllichtmann und Prof. Gerhard Kramer (Direktoren des MSCE-Programms)

**TUM**

Technische Universität München



Fakultät für  
Elektrotechnik und Informationstechnik

**MSCE**

International Graduate Program  
Master of Science in Communications Engineering

**INVITATION**

You are cordially invited to celebrate with us the

**15<sup>th</sup> Anniversary of the MSCE Program and Graduation of MSCE CLASS 2011 – 2013**

The ceremony will be held on Tuesday  
**22nd October 2013, 4:00 p.m.**  
at  
TU München, Lecture Hall 1100  
Arcisstraße 21, 80333 München

**Prof. Markus C. Amann**  
Dean

**Prof. Ulf Schlichtmann and Prof. Gerhard Kramer**  
MSCE Program Directors

TUM Guided Tour

Musical Performance  
Jazzsorbet

**Welcoming Addresses**

Prof. Markus C. Amann  
Dean

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann  
President Technische Universität München

Prof. Joachim Hagenauer  
TUM Emeritus of Excellence  
MSCE Program Founder

**Commencement Speaker**

Prof. John G. Proakis  
Emeritus Professor  
Northeastern University

Musical Performance

**Diploma Presentation**

Prof. Wolfgang Utschick  
Dean of Study Affairs

Musical Performance

**Academic Awards**

Prof. Ulf Schlichtmann and Prof. Gerhard Kramer  
MSCE Program Directors

MSCE Graduate Speech

Musical Performance



de. Der Studiengang wendet sich hauptsächlich an hochbegabte ausländische Studierende mit hervorragendem Bachelorabschluss und Interesse für die Kommunikationstechnik und Elektronik und bietet ihnen ein anspruchsvolles und hochqualifiziertes Masterstudium an. Sie können sich dabei für eine der beiden Studienrichtungen *Communications Systems* (CS) bzw. *Communications Electronics* (CE) entscheiden.

Am 22.10.2013 hatte die Fakultät EI zum fünfzehnjährigen Jubiläum eingeladen und es kamen neben den aktuellen Studierenden der Jahrgänge 2011 und 2012 auch viele Kollegen und Sponsoren, die bei der Gründung des MSCE und dessen Weiterentwicklung beteiligt waren. Nach der Begrüßung durch den Dekan Prof. Markus Amann sprach der Präsident der TU München, Prof. Wolfgang A. Herrmann. In seinem Grußwort würdigte er das MSCE-Programm, das wesentlich zur Internationalisierung der Fakultät beigetragen hat und richtungsweisend war für die Installation weiterer international ausgerichteter Masterstudienfächer an der TU München.

Prof. Joachim Hagenauer, Leiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik in den Jahren 1993–2006 und der erste MSCE-Programmdirektor von 1998 bis 2008, erinnerte in seinem Rückblick an den ereignisreichen Beginn. Erst Anfang 1997 hatte eine kleine Gruppe von EI-Professoren die Idee zu einem international ausgerichteten Studiengang und bereits Ende 1997 beschloss die Fakultät den Start für das Wintersemester 1998/99. Natürlich war vorher einige Überzeugungsarbeit erforderlich.

Zunächst war geplant, die doch beträchtlichen Kosten für internationale Gastprofessoren und zusätzli-

Die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München bietet seit dem Wintersemester 1998/99 den internationalen Studiengang *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE) an. Dieser Studiengang entstand insbesondere aufgrund der Initiativen der Professoren Joachim Hagenauer (LNT), Jörg Ebers-

pächer (Lehrstuhl für Kommunikationsnetze), Georg Färber (Lehrstuhl für Prozessrechentechnik) und Josef A. Nossek (Lehrstuhl für Netzwerktheorie und Signalverarbeitung). Daneben waren viele weitere Kollegen aus der Fakultät beteiligt.

MSCE war der erste Masterstudiengang Bayerns, der vollständig englischsprachig konzipiert wur-



Beim Festvortrag von John G. Proakis: TU-Vizepräsident Klaus Dippold, die Professoren Andreas Herkersdorf, Gerhard Kramer, Wolfgang Utschick, Joachim Hagenauer, TU-Präsident Wolfgang A. Herrmann und Dekan Markus Ammann

ches Lehrpersonal durch Studiengebühren zu decken. Aber dies verbot das damalige Bayerische Hochschulgesetz. Daraufhin begann die Suche nach Sponsoren und innerhalb von nur kurzer Zeit wurden genügend viele Geldgeber aus der Industrie gefunden: Siemens, Infineon, General Electric, Intel, Rohde & Schwarz, Mannesmann, die Deutsche Telekom, O2 und einige andere mehr.

Damit waren die Vorbereitungen aber noch nicht abgeschlossen. Erst musste der Bayerische Landtag die Möglichkeit eines B.Sc.- und eines M.Sc.-Abschlusses an der TU München grundsätzlich ermöglichen, was im Juli 1998 geschah. Bereits ein Monat später veröffentlichte das Ministerium die Studien- und Prüfungsordnung des neuen Studiengangs und im Oktober kamen die ersten 24 MSCE-Studenten.

Joachim Hagenauer beendete seine Ausführungen mit einer Zusammenstellung aller Punkte, auf die er, seine Gründungskollegen und die gesamte Fakultät besonders stolz sind:

- In 15 Jahren haben 576 Studenten aus 58 verschiedenen Ländern das MSCE-Programm abgeschlossen. Besonders viele von ihnen kommen aus dem asiatischen Raum, z.B. China, Indien oder Pakistan.
- Von 1998 bis 2013 hat sich die Anzahl der Bewerber von 40 auf etwa 800 erhöht. Die Anzahl der Plätze ist nicht begrenzt, sondern richtet sich nach der Qualität der Bewerber. 2013 begannen 81.
- 97% der MSCE-Studenten beenden ihr Studium in zwei Jahren erfolgreich und 30% der Absolventen bleiben in Deutschland oder arbeiten später bei einer deutschen Firma in ihrer Heimat.

Ehrengast der Veranstaltung war Prof. John G. Proakis, Emeritus der Northeastern University in Boston. In seinem Festvortrag erinnerte er sich an etliche Anekdoten aus seiner Münchner Zeit als einer der ersten Gastdozenten des MSCE-Studiengangs (1999). Alle unsere internationalen Gastprofessoren, die eine Vorlesung über ihr Spezialgebiet im zweiten MSCE-Semester halten,

haben eine hohe wissenschaftliche Reputation; viele von ihnen sind *IEEE Senior Member* oder *IEEE Fellows*. Bei der folgenden unvollständigen Liste beschränken wir uns auf MSCE-CS, dessen Programmdirektor seit 2010 Gerhard Kramer ist.

Neben John G. Proakis waren jeweils für ein Sommersemester an der TU München die Professoren Stephen B. Wicker (Cornell University), Daniel J. Costello (University of Notre Dame), Ezio Biglieri (Politecnico di Torino), Raymond Yeung (Chinese University of Hong Kong), Max Costa (Universidade Estadual de Campinas), Anthony Ephremides (University of Maryland), Muriel Médard (Massachusetts Institute of Technology), Gottfried Ungerboeck (früher IBM Zurich Research Laboratory), Prakash Narayan (University of Maryland) und zuletzt Andrew Thangaraj (Indian Institute of Technology).

Die Jubiläumsveranstaltung im Theresianum endete mit der Graduierungsfeier des MSCE-Jahrgangs 2011 – 2013 und der Preisverleihung durch die beiden Programmdirektoren Gerhard Kramer und Ulf Schlichtmann. Zwei der drei ausgezeichneten *Top Students* sind nun Doktoranden am LNT: Rana Ali Amjad und Onur Günlü.



MSCE-Studenten des Jahrgangs 2011–2013

## 9.3 16<sup>th</sup> Joint Conference on Communications and Coding, 8. bis 10. März 2013, Holzgau, Österreich

### Elisabeth Georg und Gerhard Kramer

The 16<sup>th</sup> Joint Conference on Communications and Coding (JCCC), was held in Holzgau/Austria from March 8–10, 2013. The participants were as follows:

- six researchers from *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL) in Switzerland,
- Professor Holger Boche from the *Institute of Theoretical Information Technology* (LTI) at TUM and five of his research assistants,
- Professor Gerhard Kramer and twelve members of his research staff at the *Institute for Communications Engineering* (LNT),
- Professor Norbert Hanik from the *Wired and Optical Communications Group* (LÜT) together with two of his Ph.D. students.

The three-day workshop included three oral presentation sessions as

well as two poster sessions (see the program on the next page). The topics were very diverse, and included wiretap, quantum, and optical channels, as well as channel coding (polar and LDPC codes), source coding, network coding, broadcasting, relaying, and much more.

The talks in Sessions I – III were given by researchers from LTI and EPFL. Each participant presented his or her work in a 20 minute talk followed by a 10 minute discussion. The Ph.D. students and Postdocs from LNT and LÜT presented their research projects in the poster sessions. You can find detailed descriptions of these topics in Chapters 5 and 6 of this brochure.

The diverse knowledge of the audience led to lively exchanges and discussion after the sessions ended.



The evening program offered opportunities for individual technical and social conversations during joint dinners, games and sledding. The participants used their “spare” time in the mornings for pleasurable activities such as alpine skiing, cross country skiing or just for an extensive walk.

The conference was a great success, just as its 15 previous versions. Besides the technical aspects, the workshop offered a great opportunity to meet colleagues from nearby research institutes in an informal atmosphere.



Die Seminarteilnehmer von links: J. Hou, O. İşcan, S. Dierks, H. Ghozlan, G. Janßen (LTI), J. Brauchle, E. Georg, M. Heindlmaier, R. Wyrembelski (LTI), M. Wiese (LTI), G. Kramer, N. Hanik, J. Nötzel (LTI), H. Boche (LTI), T. Fehenberger, S. Saeedi, A. Merzakreeva (EPFL), M. Desgroseilliers (EPFL), M. El Hefnawy, A. Tarniceriu (EPFL), G. Böcherer, A. Giurgiu (EPFL), M. Thakur, M. Vuffray (EPFL), H. Hassani (EPFL), M. Cai (LTI)

Anfang März 2013 fand im österreichischen Holzgau die *16<sup>th</sup> Joint Conference on Communications and Coding* statt. Zu der dreitägigen Konferenz mit Seminarcharakter kamen insgesamt 28 Teilnehmer, nämlich:

- sechs Wissenschaftler(innen) von der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL), Schweiz,
  - Prof. Holger Boche vom *Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik* (LTI) der TUM und fünf seiner Mitarbeiter,
  - Prof. Gerhard Kramer vom *Lehrstuhl für Nachrichtentechnik* (LNT) zusammen mit zwölf Doktoranden und Postdoktoranden,
  - Prof. Norbert Hanik, Tobias Fehnberger und Elisabeth Georg vom *Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik* (LÜT).
- Die von LNT und LÜT organisierte Konferenz wurde vereinbart, da

sich die Forschungsgebiete dieser vier Institutionen teilweise überlappen, jeder jedoch eine etwas andere Sichtweise der Dinge und Herangehensweise mitbringt.

Die Forschungsarbeiten wurden in einem 20-minütigen Referat oder auf einem Poster vorgestellt. Nach jedem Vortrag gab es eine 10-minütige Diskussion, die von allen Teilnehmern rege genutzt wurde. Die unterschiedlichen Wissenshintergründe der Seminarteilnehmer haben zu einer großen Bereicherung der Diskussionen beigetragen.

Wie aus dem Programm ersichtlich ist, wurden die drei Vortragssit-

## Workshop – Program and Talks

### Session I: Wednesday, 08 March 2013, 14:00 – 15:20

- **Rafael Wyrembelski** (LTI): Wiretap Channels with Side Information
- **Minglai Cai** (LTI): Compound Quantum Wiretap Channels
- **Holger Boche** (LTI): Active Wiretappers and Secure Communication over Completely Insecure Channels
- **Moritz Wiese** (LTI): The Arbitrarily Varying Multiple-Access Channel with Conferencing Encoders

### Session II: Wednesday, 08 March 2013, 15:40 – 17:20

- **Janis Nötzel** (LTI): Arbitrarily Small Amounts of Correlation for Arbitrarily Varying Quantum Channels
- **Gisbert Janßen** (LTI): Universal Quantum State Merging
- **Marc Desgroseilliers** (EPFL): On the Behaviour of Mode Dependent Loss in Multimode Optical Fiber
- **Alla Merzakreeva** (EPFL): Telescopic Beamforming for Large Wireless Networks

### Session III: Thursday, 09 March 2013, 13:40 – 15:00

- **Hamed Hassani** (EPFL): Finite-Length Scaling of Polar Codes
- **Andrei Giurgiu** (EPFL): Interpolation Method and Spatial Coupling
- **Marc Vuffray** (EPFL): Lossy Source Coding via Spatially Coupled LDGM Ensembles
- **Adrian Tarniceriu** (EPFL): Single-Handed Eyes-Free Universal Input Device

### Poster Session A: Thursday, 15:30 – 17:00

- **Hannes Bartz** (LNT): On the Locality of Codeword Symbols
- **Stefan Dierks** und **Gerhard Kramer** (LNT): Interference Alignment over Sub-carriers
- **Michael Heindlmaier** und **Onurcan İşcan** (LNT): Quantizer Design for the Two-Way Relay Channel
- **Hassan Ghozlan** (LNT): Phase Noise Channels
- **Elisabeth Georg** (LÜT): In-vehicle PLC Channel: Model and Analysis

### Poster Session B: Friday, 13:40 – 15:20

- **Georg Böcherer** (LNT): Block-to-Block Distribution Matching
- **Joschi Brauchle** (LNT): Inversion of Moore Matrices using Composition of Linearized Polynomials
- **Marwa El Hefnawy** (LNT): Faster-Than-Nyquist Criterion Signaling
- **Jie Hou** und **Gerhard Kramer** (LNT): Resolvability, Coordination and Secrecy
- **Gerhard Kramer** (LNT): Networks with In-Block Memory
- **Shirin Saeedi** et al. (LNT): A Block Markov Encoding Scheme for Broadcasting Nested Message Sets
- **Mohit Thakur** (LNT): Relay Positioning for Multicast Relay Networks
- **Tobias Fehnberger** (LÜT): Performance Estimate of Soft Decision Decoding for Optical Communications

PDFs of the posters can be found under the URL <http://www.lnt.ei.tum.de/en/research/publications/2013/>



Der wissenschaftliche Leiter G. Kramer und die Organisatorin E. Georg

zungen an den beiden ersten Tagen von LTI und EPFL gestaltet. Eine inhaltliche Zusammenfassung finden Sie im englischen Teil dieses Beitrags. Die elf Doktoranden und zwei Postdoktoranden von LNT und LÜT sowie Prof. Kramer stellten ihre Forschungsergebnisse in den beiden Postersitzungen vor. Die Themen werden in diesem Heft in den Kapiteln 5 und 6 ausführlich beschrieben.

Während der Kaffeepausen und am Abend fanden weitere individuelle Gespräche statt. Für die soziale Komponente des Seminars sorgten das gemeinsame Abendessen im Tagungshotel Birkenhof sowie Spiele und Rodeln im Abendprogramm.

An den Vormittagen hatten die Teilnehmer freies Programm, das sie gerne zum Skifahren und Skilanglauf oder auch zu ausgedehnten Spaziergängen im wunderschönen Lechtal nutzten.

Noch kurz ein Wort zur Historie dieser Veranstaltungsreihe. Sie wurde von Prof. Joachim Hagenauer Mitte der 1980er Jahre als Leiter des Insti-

tuts für Nachrichtentechnik am (heutigen) Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen (DLR) ins Leben gerufen. In seiner Zeit als LNT-Chef von 1993 bis 2006 folgten die Konferenzen mit den laufenden Nummern 7 bis 15, meist eine Woche in einem attraktiven Wintersportort gemeinsam mit Partnern aus dem (internationalen) Hochschulbereich.

Auch die 16. JCCC war wieder ein voller Erfolg, wozu Elisabeth Georg als exzellente Organisatorin beigetragen hat. Herzlichen Dank im Namen aller Konferenzteilnehmer. Die 17. JCCC ist für März 2015 geplant.



Marc Vuffray (EPFL) bei seinem Vortrag „Lossy Source Coding via Spatially Coupled LDGM Ensembles“



Holger Boche, Rafael Wyrembski, Gerhard Kramer und Georg Böcherer in Diskussion während einer Kaffeepause



Mohit Thakur, Moritz Nötzel, Tobias Fehenberger und Norbert Hanik während der Poster Session



Weitgehende Selbstversorgung: Tobias Fehenberger, Joschi Brauchle, Onurcan İşcan, Mohit Thakur und Stefan Dierks

During the annual day of teaching named *dies legendi* on February 13, 2014, Professor Norbert Hanik received a teaching award from TU München. Similar to the dies academicus, which centers on TUM and all its academic achievements, the dies legendi recognizes the teaching accomplishments of professors and the teaching staff.

Professor Regine Keller, TUM Vice President for studies, motivated the award with the following words: "In his lectures, Norbert Hanik combines the traditional teaching style with e-learning and practical relevance. Also, the students compliment Prof. Hanik's extensive lecture notes and his well-structured lectures. In addition to his teaching activities, Professor Hanik is involved with the teaching coordination of the department and gives important creative input to the improvement of programs for the teaching degree for engineering schools.



Der Laudator Tasnad Kernetzky, Student im Masterstudiengang EI, macht derzeit seine Master Thesis bei Professor Hanik

## 9.4 Dies Legendi – Tag der Lehre TU München, 13. Februar 2014

**Tobias Fehenberger und Günter Söder**

The laudator Tasnad Kernetzky, one of Professor Hanik's students, shared some anecdotes from Professor Hanik's lecture with the audience at the *dies legendi*, which made everybody agree that the jury picked the right laureate. Congratulations, Norbert!

Im Rahmen des jährlich stattfindenden Dies Legendi - des Tages der Lehre - wurde Prof. Norbert Hanik am 13. Februar 2014 mit dem *Preis für gute Lehre* der TU München ausgezeichnet. Analog zum Dies Academicus, bei dem die TUM als Ganzes mit all ihren akademischen Errungenschaften im Zentrum steht, würdigt der Tag der Lehre besonders das Lehrengagement der Professoren und des wissenschaftlichen Personals.

Die Veranstaltung im Vorholzer-Forum wurde von Prof. Regine Keller, Ordinaria des Lehrstuhls für Landschaftsarchitektur und den öffentlichen Raum und Geschäftsführende Vizepräsidentin der TU München für Studium und Lehre, moderiert. In ihrer Begrüßungsrede bekräftigte sie den Anspruch der Technischen Universität München,

in der Lehre ebenso wie in der Forschung exzellent zu sein. Die Aufgabe der Universität ist es, bestmögliche Rahmenbedingungen für die Lehre zu schaffen. Dies tut sie mit unterstützenden Einrichtungen wie dem *Studenten Service Zentrum*, dem Hochschulreferat *Studium und Lehre* und mit der Initiative *Pro-Lehre*. Neben diesen Rahmenbedingungen sind es jedoch vor allem die Lehrenden selbst, die in vielfältiger Weise kreative Ideen zur Gestaltung ihrer Hochschullehre entwickeln und einbringen.

Den Lehrpreis für Prof. Hanik begründete sie mit folgenden Worten: „Norbert Hanik verbindet in seiner Lehre den traditionellen Frontalunterricht gezielt mit eLearning-Elementen und Praxisangeboten. Darüber hinaus loben die Studierenden sowohl Haniks ausführliches Skript als auch seine gut strukturierten Vorlesungen. Auch über seine eigene Lehtätigkeit hinaus engagiert sich Norbert Hanik als Koordinator vieler Lehrangebote der Fakultät und gibt wichtige kreative Impulse bei der Neugestaltung von Studiengängen für das Lehramt an Beruflichen Schulen.“



Urkundenübergabe durch die Vizepräsidentin der TUM für Studium und Lehre Frau Professor Regine Keller

Weitere Lehrpreise gingen an diesem Nachmittag an

- Prof. Boris Lohmann, vom Lehrstuhl für Regelungstechnik der Fakultät für Maschinenwesen,
- Dr. Jutta Möhringer, Lehrstuhl für Empirische Bildungsfor schung der TUM School of Education,
- Dr. Sabine von Tucher, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan.

In der Broschüre *Lehrpreise 2013 – Preisträgerinnen und Preisträger*, abrufbar von der Homepage der TUM, werden weitere Lehrpreisträger 2013 aufgeführt. So wurde Prof. Utschick vom Fachgebiet *Methoden der Signalverarbeitung* unserer Fakultät mit einem *Freisemester für Lehre* ausgezeichnet. Der LNT gratuliert ihm ebenso wie „unserem“ Professor Norbert Hanik.

Im Anschluss an die Preisverleihung wurden in lockerer Runde noch einige Lehrprojekte vorgestellt, die den Ernst Otto Fischer-Lehrpreis für das Jahr 2013 gewinnen konnten. So wurde ein Konzept zweier Mitarbeiterinnen der Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften vorgestellt, bei dem Studierende Kindersportspieltäfelchen entwerfen, diese selbst durchführen und dabei gleichzeitig zu Trainern für die nächste Runde ausgebildet werden.

Nicht weniger interessant war der letztjährige Beitrag von Privatdozent Dr. Florian Kraus von der Fakultät

für Chemie. In der von Dr. Kraus konzipierten Veranstaltungsreihe erlernen die teilnehmenden Studenten selbst den sicheren Umgang mit Pyrotechnika und Explosivstoffen, wobei kontrollierte Explosionen regelmäßig beliebte Bestandteile seiner Vorführungen sind.

Wir beschließen unseren Beitrag mit der Laudatio eines Studenten für Professor Norbert Hanik. „Guten Abend - mein Name ist Tasnad Kernetzky. Da ich im vergangenen Jahr zwei Vorlesungen von Professor Hanik gehört habe, wurde ich gebeten, heute einen kurzen Bericht zu geben, wie Studenten seine Lehre wahrnehmen. Dieser Bitte komme ich sehr gerne nach.“

Für den Hörer in einer Vorlesung ist es das Wichtigste, dem Dozenten stets folgen zu können und nicht den Faden zu verlieren. Professor Hanik gelingt dies, indem er die Inhalte stets so verständlich wie möglich erklärt. Manchmal meint man, er lässt sich dabei zu viel Zeit und kommt mit seinem Skript nicht durch, stellt aber am Ende der Stunde fest, dass irgendwie doch 20 Seiten Skript im Kopf gelandet sind.

Der Fokus in seinen Vorlesungen liegt auf dem Verständnis der Materie, stures Auswendiglernen erwartet er nicht. Selbst bei sehr schwierigen Themen wird man nicht überfahren und man hat das Gefühl, den Inhalt verstehen zu können – wenn auch manchmal erst beim Nachbereiten.



Professor Norbert Hanik mit Professor Wolfgang Utschick, Studiendekan der Fakultät EI, und seinem Laudator Tasnad Kernetzky (alle Fotos: Andreas Heddergott)

So kann man sich stets auf das Wesentliche konzentrieren und hat keine Angst vor „fiesen“ Aufgaben in der Klausur.

Vorlesungen hält Professor Hanik in der für ihn typischen klaren Sprache mit einer abwechslungsreichen Wortwahl, die einen zusätzlich zum Zuhören animiert. Hervorzuheben ist auch das Format der Manuskripte. Jede Skriptseite zeigt genau eine Powerpoint-Folie und enthält einen ausführlichen Text, der den Inhalt erklärt. Dieses Format ist mein persönlicher Favorit, nützlicher kann man einen Umdruck nicht gestalten.

Kleine Anekdoten aus der Welt der Telekom und anderer Unternehmen sorgen immer wieder für eine Auflockerung. So erfährt man zum Beispiel, dass in den 80er Jahren durch die konservative Haltung der damaligen Bundespost Glasfasern einer älteren Bauform verlegt wurden als zur gleichen Zeit in Japan. Einige Jahre später stellte sich dann jedoch heraus, dass man mit einer neuen Technik wesentlich mehr Daten über die alten Fasern übertragen kann als über die neuen.

Ebenso bekommt man ab und an Bilder zu Gesicht, die für den einen oder den andern Lacher sorgen. Beispielsweise zeigt eines der Bilder den Kabelsalat in Keller des Verfassers mit dem Vermerk der physikalischen Funktionstüchtigkeit, aber optischen Verbesserbarkeit.

Alles in Allem gratuliere ich Professor Norbert Hanik zu dem ihm heute überreichten Lehrpreis – auch in meinen Augen definitiv die richtige Wahl.“

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des LNT und insbesondere seines Fachgebiets LÜT schließen sich dieser Einschätzung an. Herzlichen Glückwunsch, Norbert Hanik.

## 9.5 Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises Kronberg im Taunus, 5. April 2014

**Norbert Hanik und Günter Söder**

in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen und für humanitäre Hilfen vergeben.

Die Preisträger 2010 und 2012 waren Johannes Lenz und Hannes Bartz, beide vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) der TU München. Ausgezeichnet wurden jeweils ihre Abschlussarbeiten zum Thema Netzwerkkodierung, einem Forschungsgebiet, das Ralf Kötter zu einem großen Teil selbst kreierte, und das Ralf bis zu seinem Tod mit Leidenschaft weiter bearbeitete.

2014 lag das Vorschlagsrecht wieder bei der TU München. Von den drei vorgeschlagenen Bewerbern entschied sich Familie Kötter für den Kandidaten Tobias Fehlenberger, seit 2012 Assistent von Prof. Hanik im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT). Ausgezeichnet wurde seine Diplomarbeit zu einem hochaktuellen Thema aus dem Gebiet der optischen Übertragungstechnik, angefertigt 2011 unter der Betreuung von Prof. Hanik am *University College London*.

Die Festversammlung wurde von Ruth Kötter im Namen der Familie begrüßt. Bürgermeister Klaus Temmen führte aus, dass der im nahen Königstein geborene Ralf Kötter schon im Kindesalter nach Kronberg kam, hier die Grundschule besuchte und anschließend das Gymnasium in

Königstein. Erst nach dem Studium in der Region an der TU Darmstadt zog es ihn zu seiner Karriere in die weite Welt, zunächst nach Schweden, dann nach Frankreich und in die USA. Die Stadt Kronberg sei stolz, so Bürgermeister Temmen, dass Professor Ralf Kötter für seine letzte Ruhestätte den Friedhof Thalerfeld in seiner Heimat ausgesucht hat.

Prof. Norbert Hanik ging in seiner Laudatio zunächst auf den Namensgeber dieses Preises ein, mit dem er während ihrer gemeinsamen zwei Jahre am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik viele Gespräche geführt hat, zunächst meist fachlicher Art, später dann auch viel Persönliches.

„Ralfs Tätigkeit als Hochschullehrer begann 1997 an der *University of Illinois* in Urbana-Champaign. Dort gelangen ihm Aufsehen erregende Entdeckungen auf unterschiedlichen Gebieten der Codierungstheorie und der Informationstechnik. Als er 2006 in der Nachfolge von Professor Joachim Hagenauer an die TU München berufen wurde, führte er seine Arbeit in Forschung und Lehre trotz seiner plötzlich aufgetretenen schweren Erkrankung bis zu seinem Tod im Jahr 2009 mit höchstem Einsatz fort. Sein Werk bleibt am LNT in steter Erinnerung. Viele der letzten von ihm ausgewählten Doktoranden werden in diesem Jahr – betreut von seinem Nachfolger Gerhard Kramer – ihre Dissertation vollenden.“

Danach ging Norbert Hanik ausführlich auf den harten Schicksalschlag ein, den die Familie Kötter im vergangenen Jahr getroffen hat. Ralfs Witwe Nuala verstarb im Dezember 2013 im Alter von nur 48 Jahren in München, knapp fünf Jahre nach Ralf. Diesen Teil von Haniks Rede haben wir nahezu wörtlich in die Würdigung von Nuala Kötter auf Seite 10 dieses Heftes übernommen.

Den fachlichen Teil von Haniks Laudatio zitieren wir wörtlich:

„Auch für 2014 haben wir an der TU München und Familie Kötter einen würdigen Preisträger gefunden:

On April 5, 2014, the „Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis“ was awarded for the fifth time in the city hall of Kronberg/Taunus. The prize was initiated 2009 and is endowed by Ruth and Hubert Kötter, the parents of Ralf Kötter. As keynote speaker of the award ceremony, Prof. Norbert Hanik introduced this year's award winner Tobias Fehlenberger, who received the prize for his outstanding Diploma thesis in the field of optical communication systems.

Am 5. April 2014 wurde zum fünften Mal der Professor Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis verliehen. Dieser jährlich zu vergebende Preis mit einer Dotierung von jeweils 500 € wurde 2009 vom Ehepaar Ruth und Hubert Kötter in großherziger Weise ins Leben gerufen, zeitlich begrenzt bis 2023, dem Jahr, in dem ihr Sohn Ralf, unser ehemaliger Lehrstuhlinhaber sein 60. Lebensjahr vollendet hätte. Der Preis wird jährlich im Wechsel für innovative Forschung auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik und in den Jahren dazwischen für außergewöhnliches Engagement



Der Preisträger Tobias Fehlenberger mit Bürgermeister Klaus Temmen, Laudator Norbert Hanik sowie Gerhard Kramer, Ruth Kötter und Hubert Kötter (Fotos M. Westenberger)



Dipl.-Ing. Tobias Fehlenberger

Dipl.-Ing. Tobias Fehlenberger, einer von Ralfs ehemaligen Studenten in München, dem mit seiner Diplomarbeit *Investigations into Nonlinear Channel Capacity Limits of Fibre-optical Communication Systems* eine hervorragende Leistung gelungen ist.

Worum geht es, allgemein verständlich ausgedrückt, in dieser Arbeit? Die stetig wachsende Nutzung des Internets erzeugt eine ebenso stetig steigende Datenmenge, die weltweit transportiert werden muss. Dies wird durch die optische Datenübertragung über Glasfasern ermöglicht, also die Übertragung von Daten mit Hilfe von infrarotem Licht. Dazu werden die Daten – im digitalen Zeitalter repräsentiert durch die binären Werte 0 oder 1 – der Amplitude oder Phase einer optischen Trägerschwingung aufgeprägt. Hier stellen sich dem Nachrichtentechniker einige wichtige Fragen, zum Beispiel: Wie groß ist die Datenmenge pro Zeiteinheit, die pro Kanal übertragen werden kann? Über welche Distanzen können diese Daten übertragen werden, ohne dass zu viele nicht mehr korrigierbare Fehler entstehen? Denn auch auf der Glasfaser wird die Übertragung durch eine Vielzahl linearer und nichtlinearer Effekte gestört.

Tobias konnte in seiner Arbeit zeigen, dass eine Datenrate von 100 Gbit/s je Kanal (dies entspricht der schwer vorstellbaren Anzahl von 100 Milliarden Binärzeichen pro Sekunde) über 6500 km Glasfaserstrecke

fehlerfrei übertragen werden kann, wenn man die Sendeleistung, den Streckenaufbau und das Modulationsverfahren optimal auswählt. Darüber hinaus konnte er nachweisen, dass in bestimmten Fällen zeitaufwändige Rechnersimulationen durch die Auswertung relativ einfacher analytischer Gleichungen ersetzt werden können. Mit seiner Arbeit hat Tobias die Grundlage für vielfältige weiterführende Untersuchungen geschaffen, an deren Umsetzung er aktuell im Rahmen seiner Dissertation arbeitet.

Schließen möchte ich mit einigen Details des trotz seiner jungen Jahre durchaus interessanten Lebenslaufs des Kandidaten. Tobias begann sein Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der TUM im Herbst 2005. Nach einem Auslandssemester an der *American University of Beirut* 2008/2009 unterbrach er sein Studium für einige Zeit, um bei einer Firma in Beirut als *Head of IT Coordination Unit* Berufserfahrung zu sammeln. Ende 2010 kehrte er an die TU München zurück und schloss sein Studium innerhalb eines Jahres ab. Die heute ausgezeichnete Diplomarbeit fertigte er schließlich im Rahmen eines halbjährigen Forschungsaufenthaltes am *University College London* an.

Wie Sie sehen, zeigen sich bei Tobias Fehlenberger in der Begeisterung für die Nachrichtentechnik und im Bestreben, sich stetig zu verändern und Neues kennen zu lernen, bemerkenswerte Parallelen zur Vita

## 9 Veranstaltungen

von Ralf Kötter. Wir sind sicher, mit ihm einen würdigen Preisträger gefunden zu haben. Möge er den heutigen verliehenen Preis als Ehrung und Ansporn verstehen, seine Kenntnisse stetig zu erweitern und zum Nutzen aller einzusetzen.“

In seiner Dankesrede erinnerte Tobias Fehlenberger an eine Vorlesung von Ralf Kötter, die ihm besonders im Gedächtnis geblieben ist. Professor Kötter hatte ein Konzept mit einer tafelfüllenden Formel mathematisch beschrieben. In der nächsten Vorlesung begann Ralf, die Formel aus dem Gedächtnis wieder an die Tafel zu schreiben. Er ergänzte Term für Term und erklärte nebenbei, welchen Aspekt jeder Term im Kommunikationssystem darstellt. Tobias Fehlenberger berichtete, wie sehr es ihn damals beeindruckt habe, dass es hier nicht um das schnelle Auswendiglernen geht, sondern dass es darauf ankommt, die Dinge in ihrer Tiefe und Bedeutung zu verstehen. Diese Auffassung, für die Ralf Kötter stand, möge am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik weiterleben.



Gespräche beim Imbiss: Die Preisträger Tobias Fehlenberger und Hannes Bartz im Gespräch mit ihrem ehemaligen Kollegen Dr. Danail Traskov

## 9.6 LNT & DLR Summer Workshop on Coding TU München, 24. Juli 2014

**Georg Böcherer und Gerhard Kramer**

**Dr. Mark Flanagan**, University College Dublin, Ireland:  
Minimum Distance Distribution of Irregular Generalized LDPC Code Ensembles

**Dr. Enrico Paolini**, University of Bologna, Italy:  
Low-density Parity-check Codes under Maximum Likelihood Erasure Decoding

**Giuliano Garrammone**, M.Sc., University of Bologna and DLR:  
Spectral Shape of Non-Binary LDPC Code Ensembles with Separated Variable Nodes

**Francisco Lazaro Blasco**, M.Sc., TU Hamburg-Harburg and DLR:  
LT Code Design for Inactivation Decoding

**Dr. Georg Böcherer**, LNT/TUM:  
Probabilistic Shaping and Channel Coding in Gaussian Noise

**Dipl.-Ing. Markus Stinner**, LNT/TUM:  
Finite-length Behavior of Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes

**Dr. Sina Vafi**, Charles Darwin University, Australia:  
Serially Concatenated Codes with Cyclic Euclidean Geometry LDPC and Convolutional Codes

Wie aus nebenstehendem Programm hervorgeht, gab es vier Vorträge von Mitarbeitern bzw. Gastwissenschaftlern des DLR.

Die LNT-Seite wurde repräsentiert durch Professor Gerhard Kramer, Dr. Georg Böcherer, Markus Stinner sowie Dr. Sina Vafi von der

australischen *Charles Darwin University*, der für ein halbes Jahr Guest des LNT war.

Nach jedem Beitrag gab es ausreichend Zeit für Diskussionen, ebenso in den Kaffeepausen sowie beim gemeinsamen Biergartenbesuch im Löwenbräukeller (siehe Foto).



Die Teilnehmer des Workshops vor dem Eingang des Löwenbräukellers. In der unteren Reihe der zweite von rechts: Dr. Gianluigi Liva

# 10

## Internationale Beziehungen

### 10.1 Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern

Gerhard Kramer und Günter Söder

In the last two years, six of our research assistants visited various international universities or research institutes. The places visited were Bell Labs in Murray Hill, New Jersey, the ETIS laboratory near Paris, the Japanese telecommunications company KDDI, the Institute for Telecommunications Research (ITR in Adelaide, Australia, and the Universities of Stanford, California, and Toronto, Canada. See the reports on the next pages. Several other international visits took place through Gerhard Kramer's active involvement in the IEEE Information Theory Society, including as the Society's President in 2013.

Auch im Berichtszeitraum 10/2012 – 09/2014 gab es einen regen Austausch zwischen den Mitarbeitern von LNT/LÜT und anderen Forschern weltweit, die sich mit ähnlicher Thematik beschäftigen. Wir beginnen mit den Reisen unseres Lehrstuhlinhabers. Gerhard Kramer war 2013/2014 zu *IEEE Technical Activities Board Meetings* in Austin (Texas), San Diego (Kalifornien) und New Brunswick (New Jersey), beim *Technical Program Committee Meeting* für das *IEEE International Symposium Information Theory* in Princeton (New Jersey), beim *EUSIPCO Meeting and Awards Lunch* in Lissabon und beim *Swedish Research Council Review Panel* in Stockholm. Daneben besuchte er zu eingeladenen Vorträgen

- die *Universiy of Tehran* (2013) sowie die *Tarbiat Modares University* (2014) in Teheran/Iran,
- das *Renyi Institute* in Budapest/Ungarn (2013),
- die *University of British Columbia* in Vancouver/Kanada (2013),
- die *Cambridge University* und das *Imperial College London* (2014) in England.

Hier nicht aufgeführt sind Vorträge bei Konferenzen und Workshops (Kapitel 8) sowie Lehrveranstaltungen bei Forschungseinrichtungen und anderen Universitäten (Kapitel 3.6).

Georg Böcherer besuchte 2013/14

- die Abteilung von Prof Gesbert in Sophia Antipolis (Eurecom),
- das Institut für Signalverarbeitung (Prof Kubin) an der TU Graz,
- die *National Chiao Tung University* (NCTU) in Hsinchu/ Taiwan.

Auf den folgenden sechs Seiten berichten eine Doktorandin und fünf Doktoranden über ihre Aufenthalte an folgenden Forschungseinrichtungen:

- Markus Stinner: *ETIS Laboratory* in Cergy-Pontoise,
- Tobias Lutz: *Stanford University*, am *Information Systems Lab*,
- Beril Inan: *KDDI*, Telekommunikationsunternehmen in Japan,
- Michael Heindlmaier: *Bell Labs* in Murray Hill, New Jersey,
- Joschi Brauchle: *University of Toronto* in Kanada,
- Onurcan İşcan: *Institute for Telecommunications Research* in Adelaide, Australien.

### 10.1 Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern

### 10.2 Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler

### 10.3 Vorträge von Gästen

2012 hatte ich die Gelegenheit, das *ETIS laboratoire in Cergy-Pontoise* für vier Wochen zu besuchen. Dieses ist ein gemeinschaftliches Institut der Universität *Cergy-Pontoise* und des Graduiertenkollegs *École Nationale Supérieure de l'Électronique et de ses Applications* (ENSEA), die ihrerseits Teil des Forschungsnetzwerkes *Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur de Cergy-Pontoise Val-d'Oise* (PRES) sind.

Während meines Forschungsaufenthaltes konnte ich mich näher mit *Spatially Coupled LDPC* (SC-LDPC) Codes und *Non-binary LDPC* (NB-LDPC) Codes auseinandersetzen. Dabei war für mich das Skalieren von Codes bei endlichen Code-längen besonders interessant.

Zusammenfassend ist zu sagen: Es war für mich ein interessanter und fachlich äußerst lehrreicher Aufenthalt in einer faszinierenden Region. Ich bedanke mich bei Professor David Declercq und Iryna Andryanova für die freundliche Aufnahme. Durch den Besuch der Doktorandin Anne Savard am LNT im Juni 2014 wurde die gute Kooperation mit ETIS fortgesetzt.

In June 2012, I had the chance to stay with David Declercq and Iryna Andryanova at ETIS laboratory in Cergy-Pontoise in France for one month.

As the capital of France, the metropolitan region of Paris has over 12 million inhabitants. Within this metropolitan region, the town of Cergy-Pontoise was planned in the 1960s when the government of Paris was confronted with the rapid growth of the city. Today, Cergy-Pontoise has over 180.000 inhabitants. The centre of Paris is reachable with an RER train ride in one hour.

## Markus Stinner über seinen Forschungsaufenthalt im ETIS-Laboratorium an der Universität Cergy-Pontoise

The university of Cergy-Pontoise was founded in 1991 due to the exploding numbers of students at the universities of Paris. Today, the university has seven sites and more than 12.000 students.

As a part of the research and upper education pole (PRES) of Cergy-Pontoise, the *École Nationale Supérieure de l'Électronique et de ses Applications* (ENSEA) is a graduate school close to the University of Cergy-Pontoise. It was founded in 1952.

The *ETIS Information Processing and System Research Lab* is a joint research laboratory of CNRS, ENSEA Cergy and the University of Cergy-Pontoise. As a professor of the group, David Declercq works on signal processing and error correction codes for digital communications as well as on approximate inference for NP-hard problems. His focus is on low complexity decoders for non-binary LDPC codes, decoding algorithms with low error-floors for quasi-error free transmission and LDPC code designs. Iryna Andryanova, another member of the group, works on spatially-coupled and nonbinary LDPC codes, non-binary toric codes and on coding for relay channels.

Since the topic of my Dr.-Ing. degree is the design and analysis of non-binary spatially coupled LDPC

codes, the aim of the visit was to get insight into the construction and analysis of non-binary spatially codes. Within the four weeks I stayed with Iryna and David, I learnt about analyzing non-binary LDPC codes in comparison to their binary counterparts. We decided to work on the finite-length scaling law for spatially coupled LDPC codes. First we took a different approach for the scaling laws based on the work of Jeremi Ezri [1]. This work later led to an ongoing cooperation with Pablo Olmos [2].

It was a wonderful stay with warm and open-minded people. I thank Iryna Andriyanovas and David Declercq and especially Anne Savard for hosting me. I had a great time with the group. In June 2014 Anne from ETIS visited the LNT (see page 114). This demonstrates a continuation of the collaborations between LNT and ETIS.

### Literature:

- [1] Ezri, J.; Montanari, A; Urbanke, R.: A Generalization of the Finite-Length Scaling Approach beyond the BEC. In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), June 2007
- [2] Stinner, M.; Olmos, P.M.: Analyzing Finite-length Graph-based Spatially Coupled LDPC Codes. In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), June 2012



The Louvre Museum with its glass pyramid (Foto: Stinner)

## Tobias Lutz über seinen Forschungsaufenthalt am Information Systems Laboratory an der Stanford University

Between August 2012 and March 2013, I had the great pleasure to visit the Information Systems Laboratory (ISL) at Stanford University. During the first two weeks, I lived in the Stanford Guest House, which is located next to the famous SLAC National Accelerator Laboratory. For the upcoming seven months, I rented a room in Menlo Park in the house of a German-Ecuadorian family, whose hospitality was overwhelming. My host at Stanford University was Prof. Tsachy Weissman, an expert in multi-user information theory and data compression. Motivated by a discussion in one of the weekly group meetings, I decided to work on channels with memory. The final outcome was an upper bound on the capacity of the trapdoor channel, which shows that feedback increases its capacity. To conclude, the great atmosphere in the international research group, the possibility to take some of the excellent courses and the numerous trips (for instance to Las Vegas, Florida, and Hawaii) made my stay an unforgettable experience.

Die Stanford University, im Herzen des Silicon Valley gelegen, ist bzw. war die akademische Wirkungsstätte von Persönlichkeiten wie Donald Knuth (der Erfinder von Latex) oder Larry Page und Sergey Brin (die Gründer von Google). Die wirtschaftliche Situation der Universität, die akademischen Beiträge der Wissenschaftler sowie die sportlichen Leistungen der Studenten lassen sich nur mit Superlativen beschreiben. So ist die Stanford University mit einem Stiftungsvermögen von ca. 18 Milliarden Dollar eine der reichsten Universitäten der Welt. Stanford hat mehr Turing-Award-Gewinner (der „Nobelpreis“ für Informatik) als jede andere Universität der Welt. Und bei den Olympischen Sommerspielen in Peking 2008 gewannen Sportler der Universität 25 Medaillen, darunter acht Goldmedaillen.

Entsprechend groß war meine Begeisterung, als sich abzeichnete, dass ich für acht Monate das Infor-

mation Systems Laboratory (ISL) an der Stanford University besuchen konnte. Ausgestattet mit zwei Koffern und einem Rucksack begann meine Reise am 10. August 2012 am Münchner Flughafen. Die ersten beiden Wochen verbrachte ich im Stanford Guesthouse, welches sich am Rande des Campus in unmittelbarer Nähe des SLAC National Accelerator Laboratory befindet. Für die restlichen sieben Monate mietete ich ein Zimmer in Menlo Park im Haus einer deutsch-ecuadorianischen Familie, deren Gastfreundschaft überwältigend war. Die ca. 5 km lange Strecke zwischen Unterkunft und Campus legte ich täglich mit meinem Fahrrad zurück. Ganz untypisch für die USA ist die Gegend um Palo Alto, äußerst Radfahrer-freundlich und mit vielen Radwegen versehen.

Mein Gastgeber an der Stanford University war Prof. Tsachy Weissman, dessen Forschungsgruppe sich mit Problemen aus der Mehrnutzer-Informationstheorie und mit Algorithmen für die Datenkomprimierung befasst. Von den Mitgliedern der internationalen Forschungsgruppe (Indien, Südkorea, Spanien, USA, China, Israel) wurde ich äußerst freundlich aufgenommen. Bei meiner ersten Teilnahme an den wöchentlichen

## 10 Internationale Beziehungen

Gruppentreffen waren gedächtnisbehaftete Kanäle das Thema. Motiviert von den Ausführungen von Professor Haim Permuter befasste ich mich in der Folgezeit auch mit diesem Thema. So konnte ich eine obere Schranke für die Kapazität des Trapdoor-Kanals herleiten, wodurch nachgewiesen wurde, dass Feedback die Kapazität dieses Kanals erhöht.

Neben exzellenten Forschungsbedingungen bestand auch die Möglichkeit, einige der erstklassigen Kurse zu besuchen. So nahm ich an den Kursen *Programming Abstractions in C<sup>++</sup>, Linear and Nonlinear Optimization, Network Information Theory* und *Functional Analysis* teil.

Zahlreiche kleinere und größere Trips, zum Beispiel nach Las Vegas, Florida oder Hawaii, rundeten meinen Aufenthalt ab und machten ihn zu einem unvergesslichen Erlebnis. Abschließend danke ich Professor Kramer und dem LNT, dass mir dieser Aufenthalt ermöglicht wurde.



Stanford Football Stadium. The chapel of the University of Southern California (USC) in the prestigious game Stanford vs. USC

Anfang 2013 absolvierte ich einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt in Japan bei dem bekannten Telekommunikationsunternehmen KDDI in Saitama, der kleinsten Millionenstadt in der Region Tokio mit insgesamt 35 Millionen Bewohnern. Ich arbeitete in der Forschungsgruppe *Optische Übertragung* auf dem Gebiet *Space Division Multiplex* (SDM): Meine spezifische Aufgabe war der Entwurf von Multiplexern für Systeme mit so genannten Few Mode Fibers (FMF), in enger Zusammenarbeit mit Dr. Koji Igarashi und Dr. Takehiro Tsuritani. Beiden möchte ich an dieser Stelle für die vorzügliche Betreuung herzlich danken.

Dieser Forschungsaufenthalt hat mir neben vielfältigen fachlichen Erfahrungen auch die Chance eröffnet, die Lebenswirklichkeit in Japan kennen zu lernen. Aufgefallen ist mir insbesondere die Arbeitszeit meiner Kollegen von 7:00 bis nach 22:00, kombiniert mit einem Arbeitsweg von jeweils über zwei Stunden. Völlig neu war für mich auch die Kultur, die ich bei einem Besuch in der früheren Hauptstadt Kyoto mit seinen vielen Tempeln kennenlernen konnte.

In winter 2013, I stayed in Japan as a visiting researcher, and worked at KDDI, a Japanese telecommunications company. The company has its headquarters in Tokyo but the research and development part is at Saitama in the outskirts of Tokyo. The whole research and development team consists of around 300 people and I worked in a small group of eight people. One of the topics that my group was interested in was *Space Division Multiplex* (SDM). The joint work was performed with Dr. Koji Igarashi and Dr. Takehiro Tsuritani.

## Beril Inan über ihren Forschungsaufenthalt bei dem japanischen Telekommunikationsunternehmen KDDI

There are different ways to achieve SDM transmission with Few Mode Fiber (FMF) or Few Core Fiber (FCF). FMF refers to Multi Mode Fiber (MMF) in which only a few modes are supported and they have attracted a lot of attention in recent years [1].

The topic of our joint research was the design of the multiplexer (MUX) using a grating assisted approach for a weakly coupled FMF system. For conversion, a long-period fiber Bragg grating has almost no conversion error and has a simple configuration.

Moreover, one still needs a solution to multiplex the modes into the FMF. Another option seen in the literature is using two waveguide couplers [2]. The mode conversion is achieved by reducing the effective index difference of for instance the LP11 mode in waveguide 2 and the LP01 mode in waveguide 1. The LP01 mode at the input of waveguide 1 is then converted to the LP11 mode at the output of waveguide 2. If using the combination of Bragg grating and waveguide couplers, the LP01 mode is converted to LP11 with the help of the grating and transferred from the single mode waveguide to the few mode waveguide. This solution is promising since it also solves the coupling into the FMF problem, in addition to being simple and having a low conversion error margin. The design converts and multiplexes the required modes efficiently.

The grating assisted couplers with different grating sizes, thus generating different modes, can be cascaded. The first one is for just coupling LP01 to FMF, the second one adds LP11 to it, the third one adds LP21, etc. At the end when all modes are generated, the last coupler can be connected to the FMF.

Other than the research, I had the chance to get to know the Japanese culture more closely. Japanese people are incredibly hardworking and kind. Everyday my colleagues woke up early, travelled to work which takes one or two hours since Tokyo

is huge. And then they worked until 10 or 11 p.m. at night. The flats are surprisingly small, I stayed at a 20 m<sup>2</sup> flat but I was lucky with that. A friend who lived in central Tokyo had only 10 m<sup>2</sup> including kitchen and bathroom and shared it with someone else. Tokyo is a huge metropolis, like I have never seen before. The population is 35 million and actually consists of a couple of cities, all next to each other: Tokyo, the one that gives the name to the whole region, Saitama, Chiba and Kawasaki.

Tokyo was destroyed by wars and earthquakes many times, so actually it is not possible to see a lot of old temples. For the traditional Japan, one should pay a visit to Kyoto, the capital for many centuries. It is full of incredible temples and small wooden houses. It is possible to watch traditional dances, learn the tea ceremony and ikebana, the flower arrangement. Kyoto is a complete opposite of Tokyo with its ties to traditional values whereas Tokyo looks like it is from the next century with its neon lamps and huge screens everywhere. The food was also worth remembering, the sushi tastes completely different than anywhere in the world. But it should be noted that actually the Japanese food culture is very wide and sushi is only one part of it.

To sum up, I was very happy to spend three months with these kind and loving people and get to know their rich culture more closely. I thank Dr. Igarashi and Dr. Tsuritani for their excellent supervision.

### Literature:

- [1] Ferreira, F.; Fonseca, D.; Lobato, A.; Inan, B.; Silva, H.: Reach Improvement of Mode Division Multiplexed Systems using Fiber Splices. In: *IEEE Photonics Technology Letters*, 2013.
- [2] Hanzawa, N.; Saitoh, K.; Sakamoto, T.; Matsui, T.; Tomita, S.; Koshiba, M.: Demonstration of Mode-division Multiplexing Transmission over 10 km Two-mode Fiber with Mode Coupler. In: *Optical Fiber Communication Conference*. IEEE, 2011, pp. 1–3.

## Michael Heindlmaier über seinen Forschungsaufenthalt bei den Bell Labs in Murray Hill, New Jersey

Bell Labs is well known as the workplace of many famous information theorists and as the birthplace of many ground breaking inventions.

I visited this renowned institute in Murray Hill, New Jersey, in spring 2013. My host was Emina Soljanin, who I knew through her research work. I received a warm welcome at the labs and had many nice technical and non-technical discussions. Here I would like to thank Adriaan van Wijngaarden, Phil Whiting, Thomas Marzetta and Urs Niesen, as well as Mustafa Dogru, Milan Brandojic and Chun-Nam Yu.

As research we chose the topic “RaptorQ vs. Hybrid-ARQ”: Error control mechanisms are foreseen in LTE on different layers. Hybrid-ARQ is implemented on the MAC sublayer, in addition to that there is an ARQ mechanism on the RLC sublayer, in case Hybrid-ARQ fails.

RaptorQ codes are an instance of rateless codes and are standardized for multimedia services within the eMBMS / LTE-Broadcast specifications, running above the transport layer.

The goal of our work was to obtain insights about the interplay of these two mechanisms. On the one hand this is relevant for the configuration of base stations, on the other a challenging problem for mathematical modelling. We worked out some aspects and could discuss our findings with system engineers.

It was a great experience to present my work in the well-known Math seminar, which is still organized by Henry Landau. Given the prominent list of speakers I felt honored to present in that seminar.

The nice atmosphere in the labs and frequent visits to New York, a weekend in Philadelphia and Washington, and a trip to our former colleague S. Rini at Stanford/San Francisco made my stay a very enjoyable one.

Die Bell Labs sind bekannt als Arbeitsplatz vieler bedeutender Kommunikationstheoretiker und als Ort, an dem viele bahnbrechende Erfindungen gemacht wurden.

Im Frühjahr 2013 war ich an dieser renommierten Einrichtung zu Besuch, am Stammsitz in Murray Hill, New Jersey, in Gerhard Kramers früherer Abteilung. Mein Gastgeber auf Seiten der Bell Labs war Emina Soljanin, die mir bereits von ihren Forschungsarbeiten bekannt war. Ich wurde in der Gruppe sehr freundlich aufgenommen und hatte sowohl fachlich als auch überfachlich viele gute Gespräche. Vielen Dank an alle Kollegen in Murray Hill!



Emina Soljanin und Michael Heindlmaier neben der Statue von Claude E. Shannon

Die Bell Labs und der Mutterkonzern Alcatel-Lucent befanden sich in dieser Zeit in einer Umbruchphase: Während meines Aufenthalts wechselten sowohl der Präsident der Bell Labs (der bisherige Präsident Jeong H. Kim wurde für ein Ministeramt in Südkorea vorgeschlagen) als auch der CEO der Mutterfirma Alcatel-Lucent (auf Ben Verwaayen folgte Michel Combes). Dies sorgte natürlich immer für viel Gesprächsstoff.

Als Forschungsschwerpunkt wählten wir das Thema „RaptorQ vs. Hybrid-ARQ“. Dabei geht es um die Fragestellung, auf welcher Ebene der Einsatz von Fehlerkorrektur in Standards wie LTE am sinnvollsten ist. In LTE ist Hybrid-ARQ im MAC-Sublayer standardisiert und implemen-

tiert. Darüber hinaus gibt es einen selektiven ARQ-Mechanismus auf dem RLC-Sublayer, falls Hybrid-ARQ fehlschlägt. RaptorQ als Vertreter von Rateless Codes (Fountain Codes) sind für Multimedia-Dienste innerhalb der eMBMS bzw. LTE-Broadcast Spezifikationen standardisiert und laufen somit auf der Applikationsschicht.

Ziel der Arbeit war es, Aufschlüsse über das Zusammenspiel dieser beiden Mechanismen herauszufinden. Dieses Thema ist sowohl relevant für die Konfiguration von Basisstationen, als auch herausfordernd, um es theoretisch zu modellieren. Wir konnten einige interessante Aspekte beleuchten, die wir mit Systemingenieuren diskutierten.

Highlights waren auch die Vorträge im weit bekannten Math Seminar. Dieses Seminar wird immer noch von Henry Landau organisiert, der trotz seines hohen Alters die Labs wöchentlich besucht und bei allen sehr beliebt ist.

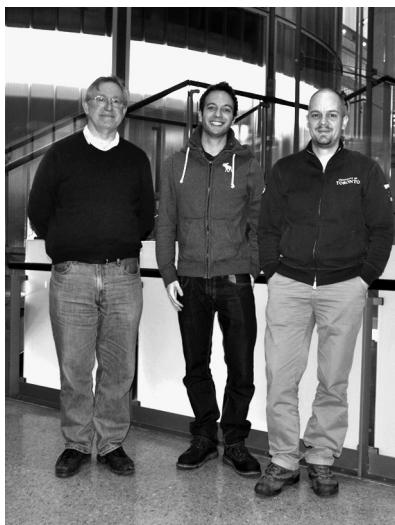
Angesichts der prominenten Rednerliste war es eine Ehre, dass ich meinen Abschlussvortrag auch dort halten konnte. Ein thematisch passender Vortrag, den ich besonders genossen habe, war von Amin Shokrollahi über Raptor Codes.

Auch in privater Hinsicht habe ich den Aufenthalt sehr genossen: Ich unternahm häufig Ausflüge nach New York und verbrachte ein Wochenende in Philadelphia und Washington. Für einen Kurztrip besuchte ich unseren früheren Kollegen Dr. Stefano Rini in Stanford/San Francisco.

In the fall of 2013 I spent three months at the University of Toronto, Canada, visiting Prof. Frank Kschischang and his group to continue work on algebraic coding theory started during Prof. Kschischang's stay in Munich until March 2013.

Toronto lies on the northern shore of Lake Ontario and is the biggest city in Canada. With temperatures ranging from above 25 degrees celsius at my arrival in October to -20 degrees at my departure in December, I experienced the full range of Canadian climate. The University of Toronto (UofT), founded in 1827, is Canadas largest and top ranked university. Prof. Kschischang holds the research chair in communication algorithms and his group consists of eight PhD students and post-docs, one of which is Dr. Christian Senger, alumni of Prof. Martin Bossert's coding group at the University of Ulm.

In this environment of experts on algebraic coding theory I was able to work efficiently on *low-order folded Reed-Solomon* codes, which feature an improved error-correction radius over previously used codes.



F. Kschischang, J. Brauchle, Ch. Senger

## Joschi Brauchle über seinen Forschungsaufenthalt an der University of Toronto

I had the chance to experience Canadian culture with my host family, Canadas breathtaking nature including Niagara falls and the fascinating city of Toronto, e.g. at a guided walk at the edge of the CN tower at 356 meters above ground.

Auf Einladung von Professor Frank Kschischang durfte ich von Oktober bis Dezember 2013 knapp drei Monate als Gastwissenschaftler an der Universität von Toronto verbringen, um gemeinsam in München begonnene Arbeit fortzusetzen.

Toronto ist mit seinen 2,7 Millionen Einwohnern die größte Stadt Kanadas und wunderschön am Nord-ufers des Lake Ontario gelegen. Durch meine sehr zentral gelegene Wohnung nahe der Yonge Street (mit knapp 1900 km die „längste Straße der Welt“) bei einer kanadischen Gastfamilie konnte ich den täglichen Weg zur Universität mit dem Fahrrad zurücklegen. Erreichte das Thermometer Anfang Oktober noch 25 Grad Celsius bei perfektem Badewetter, so fiel es bis Ende Dezember auf minus 20°C bei heftigen Schneestürmen mit Eisregen, was für diese Region Kanadas ungewöhnlich ist.

Die *University of Toronto* (kurz: UofT) wurde 1827 als *King's College* durch die anglikanische Kirche in Kanada gegründet und erhielt 1849 religiöse Unabhängigkeit und ihren heutigen Namen. Mit über 50000

Studenten am innerstädtischen Campus *St. Georg* im Herzen Torontos ist sie die größte Universität Kanadas. Akademisch rangiert sie stets unter den 20 besten Universitäten der Welt.

Prof. Kschischang leitet den Forschungslehrstuhl für Kommunikationsalgorithmen an der UofT, seine Gruppe umfasst mehrere Masterstudenten sowie acht Doktoranden und Post-Docs. Einer davon ist Dr. Christian Senger, DFG-Stipendiat, Absolvent der Codierungsgruppe von Prof. Martin Bossert in Ulm und Experte auf meinem Arbeitsgebiet der algebraischen Codierungstheorie. In diesem exzellenten Umfeld fand ich viele Ansprechpartner für meine Forschung und Antworten auf meine Fragen. Auch durfte ich an den wöchentlichen Vorträgen des Doktoranden-Seminars und der *übergeordneten Information Theory Group* teilnehmen als auch die Vorlesung von Prof. Kschischang besuchen.

Während meiner Zeit in Toronto konnte ich mit sog. *Low-Order Folded Reed-Solomon Codes* (LO-FRS) eine verbesserte Struktur von gefalteten Reed-Solomon Codes (FRS) herleiten, die die Anzahl der korrigierbaren Fehler bei multivariater, interpolationsbasierter Dekodierung (MID) und gleichbleibenden Parametern maximiert. Zusätzlich wurde eine allgemeine Formel für den Anteil korrigierbarer Fehler relativ zur Codelänge für alle Arten von (gefalteten) RS-Codes und linear-algebraischer MID bewiesen.

Neben der Arbeit an der UofT hatte ich auch Gelegenheit, die Stadt Toronto, ihr Umland und die kanadische Lebensart besser kennenzulernen. Mein erstes Wochenende in Kanada (Thanksgiving) verbrachte ich im wunderschönen Ferienhaus meiner Gastfamilie. Auch die spektakulären Niagarafälle an der Grenze zu den USA konnte ich bei einem Ausflug mit Christian Senger und seiner Familie bestaunen und einen unbeschreiblichen Nervenkitzel bescherete mir ein Spaziergang auf dem dem Dach des CN Towers in 356 Meter Höhe mit Ausblick über die Stadt.



CN Tower in Toronto (Fotos: Brauchle)

## Onurcan İşcan über seinen Forschungsaufenthalt am Institute for Telecommunications Research in Adelaide, Australien

Im Frühjahr 2014 verbrachte ich acht Wochen am *Institute for Telecommunications Research* (ITR) an der *University of South Australia*. In dieser Zeit arbeitete ich gemeinsam mit Dr. Ingmar Land und Dr. Gottfried Lechner an einem Forschungsprojekt zum Thema *Compression of Distributed Data*. Der Schwerpunkt meiner Arbeit bildete der Entwurf von Quellencodes unter Berücksichtigung von Zusatzinformation. Dabei wurden Codes für das *Slepian Wolf Coding Problem* bei asymmetrischen Raten entwickelt, wobei praktische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle spielten. Als weiteres Anwendungsbereich wurde der Zweiwege-Relaiskanal betrachtet und hierfür geeignete nichtbinäre LDPC-Codes entworfen.

ITR ist die größte Forschungsorganisation Australiens auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation, die an einer Universität angegliedert ist. Mehr als 30 wissenschaftliche Mitarbeiter forschen zusammen mit Doktoranden zu vielfältigen Themen der Kommunikationstechnik wie Satellitenkommunikation, flexible Funk- und Netzwerke, theoretische Neurowissenschaft und vieles andere mehr.

Dieser Forschungsaufenthalt an der ITR hat mir sehr viel gebracht, nicht nur aus fachlicher Sicht. Ich lernte in Australien auch faszinierende Landschaften kennen und bekam einen Einblick in die dortige Kultur. Ich bedanke mich bei meinen Gastgebern Dr. Land und Dr. Lechner und auch beim LNT, dass er mir diesen interessanten Auslandsaufenthalt ermöglicht hat.

In early 2014, I spent eight weeks at the Institute for Telecommunications Research (ITR) at the University of South Australia. I worked on a joint research project between ITR and LNT with the title *Compression of Distributed Data*. The joint work was performed with Dr. Ingmar Land and Dr. Gottfried Lechner with the main focus on code design for source coding with side information.

The Institute for Telecommunications Research, founded in 1994, is an Institute within the University of

South Australia based in Adelaide, the capital city of South Australia. ITR is the largest university-based research organization in the area of wireless communications in Australia. More than 30 researchers at ITR together with many postgraduate students conduct research on different topics in the field of telecommunications. The main research areas at ITR are satellite communications, high speed data communications, flexible radios, networks, and computational and theoretical neuroscience.

My work at ITR was mainly on source coding problems in the presence of side information. Together with Dr. Ingmar Land and Dr. Gottfried Lechner, we investigated different scenarios related to this source coding problem. Our first investigated problem was the design of practical codes for the Slepian Wolf coding problem in case of asymmetric side information and asymmetric rates. Even though the symmetric case is studied in the literature extensively, the lack of practical schemes dealing with the asymmetric problem encouraged us to work on this topic.

Another problem we investigated was based on the source coding problem for the Two-Way Relay Channel (TWRC). Especially the broadcast phase of the TWRC incorporates challenging coding problems that can be modeled as source coding problems in the presence of correlated side information. We focused on the special case of quantize-forward relaying and developed joint source-channel codes for such a setup. The main challenge is that the designed codes (which should work with non-binary alphabets in general) should perform well not just for one receiver, but for a set of receivers simultaneously. After analyzing the performance of different kinds of codes for this setup we were able to design LDPC codes that work quite well for this example. By using a modified version of the standard belief propagation decoder, these codes work close to the theoretical limits, and they are suitable for hardware implementation.



Beside the coding problem for the TWRC, we also investigated the general joint-source channel coding problem for the broadcast channel with side information. Even though theoretical work in the literature gives single letter characterizations for the rate regions of this setup, no good practical coding schemes are known. This encouraged us to investigate the performance of different practical coding schemes. It turned out that if designed properly, LDPC codes based on the *repeat-accumulate* and *accumulate-repeat-accumulate* structures can perform close to the theoretical limits, however they cannot reach these limits. We were able to characterize the gap between the theoretical results and the performance of the practical schemes in closed form expressions.

Beside my productive collaboration with Dr. Land and Dr. Lechner, I enjoyed my stay in Adelaide very much. I had the chance to meet many different researchers and doctoral students with different backgrounds and exchanged ideas. The atmosphere at ITR was always friendly. The staff at ITR helped me with every possible issue I had and let me have a very pleasant stay. They also invited me to their social activities like barbeques, concerts and sport activities.

During my stay in Australia I also had the chance to travel and was able to discover the wonderful nature of Australia and get to know the Australian and Aboriginal culture.

To summarize, I had a very nice time in Australia and a very productive research collaboration with Dr. Land and Dr. Lechner. I thank both of them for their supervision. I am also thankful to our institute and Professor Gerhard Kramer for offering me this opportunity.

The biographies of visitors who spent several weeks at the LNT are given below. Hassan Ghozlan's biography can be found on page 46.

**Marc Eberhard** received his Dipl.-Phys. from Technische Universität



München, Germany, in 1996 and his Dr. rer. nat. from Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany, in 2000.

He then joined the Photonics Research Group at Aston University in Birmingham, UK, as a Contract Research Fellow and was promoted to a Lecturer position in 2001. He has worked on different topics in theoretical physics, ranging from semiconductor devices over plasma physics to optical communication systems. His current research interests are in the area of massively parallel simulations of fibre optic communication systems.

**Frank R. Kschischang** received the B.A.Sc. degree (with honors)



from the University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, in 1985, and the M.A.Sc. and Ph.D. degrees from the University of Toronto,

Canada, in 1988 and 1991, respectively, all in Electrical Engineering. He is a Professor of Electrical and Computer Engineering at the University of Toronto, where he has been a faculty member since 1991, and where he holds the title of Canada Research Chair in Communications Algorithms. In 1997, he was a visiting scientist at MIT, Cambridge, MA, and in 2005 he was a visiting professor at the ETH Zurich.

## 10.2 Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler

**M. Eberhard, F. Kschischang, M. Leinonen, V. Muthukumar, P. Narayan, F. Rezagah, A. Savard, D. Sen, A. Thangaraj, S. Vafi, R. Yeung, A. Zaidi, G. Kramer und G. Söder**

### Guest Researchers at LNT/LÜT for one Month or Longer

02.01.2012 – 31.05.2013

**Hassan Ghozlan**, Ph.D. Student

University of Southern California (USC), Los Angeles, CA/USA

19.10.2012 – 08.05.2013, 22.08.2014 – 30.08.2014

**Prof. Frank Kschischang**, Hans Fischer Senior Fellow, TUM-IAS

University of Toronto, Canada

01.05.2013 – 31.05.2013

**Prof. Raymond Yeung**

Chinese University of Hong Kong (CUHK), China

01.05.2013-30.06.2013

**Prof. Prakash Narayan**, Lecturer in the MSCE program

University of Maryland, MD/USA

16.11.2013 – 19.12.2013, 10.05.2014 – 19.06.2014

**Markus Leinonen**, Ph.D. Student

University of Oulu, Finland

06.05.2014 – 17.07.2014

**Prof. Andrew Thangaraj**, Lecturer in the MSCE program

Indian Institute of Technology (IIT), Madras, India

08.05.2014 – 07.07.2014

**Prof. Debarati Sen**, DAAD-IIT Faculty Fellow

Indian Institute of Technology Kharagpur, West Bengal, India

10.05.2014 – 10.06.2014

**Vidya Muthukumar**, B.Sc. Student

Indian Institute of Technology (IIT), Madras, India

11.06.2014 – 19.09.2014

**Anne Savard**, Ph.D. Student

ETIS-UMR Lab ENSEA, France

07.07.2014 – 28.07.2014

**Dr. Marc A. Eberhard**,

Aston University in Birmingham, UK

14.07.2014 – 30.12.2014

**Dr. Sina Vafi**

Charles Darwin University, Australia

18.07.2014 – 06.09.2014

**Farideh Rezagah**, Ph. D. Student

New York University, NY/USA

02.08.2014 – 27.09.2014

**Prof. Abdellatif Zaidi**

Université Paris-Marne-La-Vallée, France

His research interests are focused primarily on the area of coding theory. Because error-control coding schemes are needed in just about every data transmission link, his work has many practical applications, ranging from wired channels, to wireless channels, to optical channels.

Within the Institute for Advanced Study at TU München, as a Hans Fischer Senior Fellow he is working with Professor Kramer and other experts in fiber-optic communications to try to (they hope) dramatically improve the information-carrying capabilities of optical fibers, particularly multi-mode and multi-core fibers. If successful, their work will have the every-day impact of helping to create a better, faster, more reliable Internet.

**Markus Leinonen** received his B.Sc. (Tech.) and M.Sc. (Tech.) degree in



Electrical Engineering from University of Oulu, Oulu, Finland in 2010 and 2011, respectively. In 2010, he joined the Centre for Wireless Communications (CWC) at University of Oulu, where he is currently working toward his Dr.Sc. (Tech.) degree. During 2013 and 2014, he has been a guest researcher at TU München, Germany.

His main research interests include distributed cross-layer optimization and compressed data gathering in energy-efficient wireless sensor networks. Recently, he has been focusing on compressed sensing with recursive signal recovery techniques and data quantization.

**Vidya Muthukumar** received her B.Tech. degree (with Honours) in



Electrical Engineering from the Indian Institute of Technology, Madras, India, and is now beginning a Masters/Ph.D. program at UC Berkeley in Electrical Engineering and Computer Science. She worked on her B.Tech. project involving stochastic decoding of LDPC codes under

Professor Andrew Thangaraj of IIT Madras, and continued this work at the Technische Universität München under the supervision of Professor Kramer. She also did an undergraduate research internship at California Institute of Technology in the summer of 2013 under Professor Babak Hassibi, where she helped design low-coherence frames using group theory and representation theory.

Her broad areas of research interest are in the areas of communications and networking, and she will be joining the Wireless Foundations Laboratory in Berkeley.

**Prakash Narayan** received the B.Sc. degree in Electrical Engineering

from the Indian Institute of Technology, Madras in 1976, the M.S. degree in Systems Science and Mathematics in 1978, and the D.Sc. degree in Electrical Engineering, both from Washington University, St. Louis, MO.

He is Professor of Electrical and Computer Engineering at the University of Maryland, College Park, with a joint appointment at the Institute for Systems Research. He has held visiting appointments at ETH Zurich, the Technion Haifa, the Renyi Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, the University of Bielefeld, the Institute of Biomedical Engineering ((formerly LADSEB), Padova, and the Indian Institute of Science, Bangalore. His research interests are in multi-user information theory, communication theory, communication networks, cryptography, and information theory and statistics.

Prof. Narayan has served as Associate Editor for Shannon Theory and on the Executive Editorial Board for the IEEE Transactions on Information Theory and he was Co-Organizer of the IEEE Workshop on Multi-User Information Theory and Systems (1983), Technical Program Chair of the IEEE/IMS Workshop on Information Theory and Statistics (1994), General Co-Chair of the IEEE International Symposium on

Information Theory, Washington, D.C. (2001), and Technical Program Co-Chair of the IEEE Information Theory Workshop, Bangalore (2002). He served as a Member of the Board of Governors of the IEEE Information Theory Society from 2007 to 2012.

**Farideh Rezagah** received her B.Sc. degree from Sharif University of

Technology, Tehran, Iran in 2010 with specialization in telecommunications. Since September 2010, she is a Ph.D. candidate at New York University Polytechnic school of Engineering, under the supervision of Elza Erkip. Her research interests include single and multi-hop interactive function computation, reconstruction constraints, and more recently the connection between lossy compression and compressed sensing. More information about her can be found at <http://research.poly.edu/~iis/people/farideh-rezagah>.

**Anne Savard** received the Eng. degree in Electrical Engineering with specialization in Multimedia Systems

from ENSEA, Cergy-Pontoise, France, and the M.Sc. degree in Intelligent and Communicating Systems from Université Cergy-Pontoise, both in 2012. Since October 2012, she is a Ph.D. student at ETIS Laboratory/ENSEA, under the supervision of Claudio Weidmann and David Declercq. Her research interests include modern channel coding, cooperative communications and multi-user information theory.

**Debarati Sen** is presently associated with the Indian Institute of Technology Kharagpur as an Assistant Professor. She obtained her Ph.D. from IIT Kharagpur, India, in Telecommunication Engineering in 2010.

Her research focuses on Wireless and Optical Communication Systems, mostly on MB-OFDM, Synchronization, Equalization, UWB, BAN, Green Communications, 60 GHz Communications, Baseband Algorithm Design for Coherent Optical Communications. Earlier, she was a Postdoctoral Research Fellow with Chalmers University of Technology, Sweden, and a Sr. Chief Engineer at Samsung Research, Bangalore, India. She is a member of IEEE, an Editorial board member of two international journals, recipient of a Best Paper Award at the Samsung Tech. Conference 2010 and the IEI Young Engineers Award 2010.

Debarati Sen was with the Institute for Communications Engineering at Technische Universität München, Germany, as a DAAD-IIT Faculty Fellow 2014 working with Prof. Kramer and other experts on Signal Processing aspects of Distributed MIMO Communication Systems.

**Andrew Thangaraj** received his B.Tech. in Electrical Engineering from the Indian Institute of Technology (IIT), Madras, India in 1998 and a PhD in Electrical Engineering from the Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA in 2003. He was a post-doctoral researcher at the GTL-CNRS Telecom lab at Georgia Tech



Lorraine, Metz, France from August 2003 to May 2004. From June 2004, he has been with the Department of Electrical Engineering, IIT Madras, where he is currently an associate professor. Since Jan 2012, he has been serving as Editor for the IEEE Transactions on Communications.

**Sina Vafi** received his BSc from Khajeh Nasirreddin-e Toosi (KNT)



University of Technology, Tehran, in 1996, MSc from Islamic Azad University, South Tehran branch in 1999, and Ph.D. from the University of Wollongong (UoW), Australia, in 2006, all in Electrical Engineering. From 2006 to 2007, he was involved in research, design and implementation of 2.4 GHz broadband wireless mesh networks at UoW.

In 2007, he was appointed as a Lecturer of Electrical Engineering at Charles Darwin University. Currently, he is a senior lecturer and leads a research project on error protection for broadband wireless video transmission systems. During 2010, he was a research visitor at Tohoku University, Japan and at The University of California, Davis.

His research interests include wireless communications and error control coding.

**Raymond W. Yeung** received the B.S., M.Eng. and Ph.D. degrees in



Electrical Engineering from Cornell University in 1984, 1985, and 1988, respectively. He joined AT&T Bell Laboratories in 1988. He came to Chinese University of Hong Kong (CUHK) in 1991 and has been with the Department since then, where he is currently a chair professor. Since 2010, he has been serving as Co-Director of the Institute of Network Coding.

He is the author of the books *A First Course in Information Theory* (Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002) and *Information Theory and Network Coding* (Springer

2008), which have been adopted by over 60 institutions around the world. His research interest is in information theory and network coding. He was a consultant in a project of Jet Propulsion Laboratory for salvaging the malfunctioning Galileo Spacecraft.

Professor Yeung is a Changjiang Chair Professor of Xidian University and an Advisory Professor of Beijing University of Posts and Telecommunications. He is a Fellow of the IEEE and the Hong Kong Institution of Engineers.

**Abdellatif Zaidi** received the B.S. degree in Electrical Engineering from École Nationale Supérieure de Techniques Avancées, ENSTA Paris Tech,



France in 2002 and the M. Sc. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from École Nationale Supérieure des Télécommunications, TELECOM ParisTech, Paris, France in 2002 and 2005, respectively.

From December 2002 to December 2005, he was with the Communications and Electronics Department, TELECOM ParisTech, and the Signals and Systems Lab., CNRS/Supélec, France, pursuing his Ph.D. degree. From May 2006 to September 2010, he was at École Polytechnique de Louvain, Belgium, working as a research assistant. Dr. Zaidi was “Research Visitor” at the University of Notre Dame, Indiana, USA, during fall 2007 and spring 2008. He is now, an associate professor at Université Paris-Est Marne-La-Vallée, France.

His research interests cover a broad range of topics from signal processing for communication and multi-user information theory. Of particular interest are the problems of relaying and cooperation, network coding, interference mitigation, secure communication, coding and interference mitigation in multi-user channels, source coding and side-informed problems, with application to sensor networking and ad-hoc wireless networks. Prof. Zaidi is an Associate Editor of the Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking.

## 10.3 Vorträge von Gästen

### Doris Dorn und Günter Söder

- 24.10.2012 **Shirin Saeedi**, Ph.D., École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland:  
Broadcast Channels through Deterministic Models
- 21.11.2012 Prof. **Jörg Kliewer**, Klipsch School of Electrical & Computer Engineering, New Mexico State University, Las Cruces, USA:  
Polar-Code-based Achievable Schemes and Capacity Bounds for Strong Coordination over Networks
- 09.01.2013 Dr. **Paul De Kerret**, EURECOM, Department of Mobile Communications, Sophia Antipolis, France:  
CSI Sharing Strategies in Wireless Networks
- 17.01.2013 Dr. **Anna-Lena Trautmann**, Institut für Mathematik, Universität Zürich, Switzerland:  
List Decoding Constant Dimension Codes in their Plücker Embedding
- 23.01.2013 Dr. **Peter Winzer**, Bell Labs, Alcatel-Lucent, NJ, USA:  
Optical Networking beyond WDM
- 28.01.2013 Dr. **Christian Senger**, Institute of Communications Engineering, Universität Ulm:  
The Periodicity Projection in Algebraic Decoding of Reed-Solomon Codes
- 30.01.2013 Dr. **Francesco Rossetto**, Fa. Rohde & Schwarz, München:  
Time Interference Alignment via Delay Offset for Long Delay Networks
- 18.02.2013 Dr. **Marc A. Eberhard**, Aston University, Birmingham, UK:  
Massively Parallel Simulations of Rogue Wave Statistics in Super Continuum Generation in Optical Fibres
- 20.02.2013 Prof. **Bernhard Schmauß**, Universität Erlangen-Nürnberg:  
Progress in Digital Back Propagation
- 14.03.2013 Prof. **Arnaldo Spalvieri**, Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, Italy:  
Exploiting Bayesian Tracking in the Evaluation of Shannon Information
- 27.05.2013 Prof. **Raymond Yeung**, Institute of Network Coding, The Chinese University of Hong Kong, China:  
BATS: Coding for a Network Coded Fountain
- 06.06.2013 Prof. **Prakash Narayan**, University of Maryland, MD, USA:  
When is a Function Securely Computable?
- 17.06.2013 Dr. **Yingbin Liang**, Department of EECS, Center for Science & Technology, Syracuse University, NY, USA:  
Block Regularized Lasso for Multivariate Multi-Response Linear Regression



Nebenstehend sind die 51 Vorträge von den Gästen zusammengestellt, die den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik im Berichtszeitraum 01.10.2012 – 30.09.2014 besucht haben. Hier nicht aufgeführt sind die sechs externen Vorträge im Rahmen des *UlmTUM Workshops on Coding Theory* in unseren Räumen am 21. Februar 2013 (Kapitel 9.1) sowie sieben externe Vorträge im Rahmen des *LNT&DLR Summer Workshop on Coding* am 24. Juli 2014 (Kapitel 9.6).

The following is a list of 51 talks that visitors gave during the time period covered by this report. The list does not include six talks held during the UlmTUM Workshop on Coding Theory in February 2013 (Chapter 9.1) and seven talks held during the LNT&DLR Summer Workshop on Coding in July 2014 (Chapter 9.6).

- 24.06.2013 Dr. **Haim Permuter**, Department of Electrical and Computer Engineering, Ben-Gurion University, Israel:  
 Obtaining the Capacity of a POST Channel with and without Feedback via Directed Information
- 08.08.2013 Prof. **Igal Sason**, Department of Electrical Engineering, Technion-Israel Institut of Technology, Haifa, Israel:  
 On the Corner Points of the Capacity Region of a Gaussian Interference Channel
- 02.09.2013 Prof. **H. Vincent Poor**, School of Engineering & Applied Science, Princeton University, NJ, USA:  
 Feedback in Wireless Networks: Recent Results & Discoveries
- 03.09.2013 **Ziv Goldfeld**, B.Sc., Ben-Gurion University, Israel:  
 On Duality between Source Coding and Channel Coding in Multi-user Settings
- 08.10.2013 **Valerija Kamchevska**, M.Sc., TU Berlin:  
 Optical Regeneration based on Optical Parametric Processes
- 14.10.2013 Dr. **Girish N. Nair**, Department of Electrical & Electronic Engineering, University of Melbourne, Australia:  
 Elements of a Non-stochastic Theory of Information
- 24.10.2013 Prof. **John G. Proakis**, University of California, San Diego, USA:  
 Digital Communication Techniques for Underwater Acoustic Channels
- 30.10.2013 Prof. **Deniz Gunduz**, Imperial College London, UK:  
 Energy Harvesting Communication System Design
- 11.11.2013 **Adam Noel**, Ph.D., University of British Columbia, Vancouver, Canada:  
 An Introduction to Diffusive Molecular Communication
- 12.11.2013 Dr. **Ying Liu**, Institut für Nachrichtentechnik, TU Darmstadt:  
 Outage Performance of Dual-Hop Fading Relay Channels
- 18.11.2013 **Markus Leinonen**, M.Sc., Centre for Wireless Communications (CWC), University of Oulu, Finland:  
 Distributed Data Gathering in Energy-Efficient Multi-Hop Wireless Sensor Networks
- 12.12.2013 Dr. **Marian Codreanu**, Centre for Wireless Communications (CWC), University of Oulu, Finland:  
 On the Stability Region of Cognitive Radio Systems with Imperfect Sensing
- 23.01.2014 Dr. **Zoran Utkovski**, University Goce Delcev Stip, Macedonia:  
 Non-coherent Two-way Relaying with Amplify-and-Forward: Performance Bounds
- 26.03.2014 Dipl.-Ing. **Bernhard C. Geiger**, Signal Processing & Speech Communications Lab., TU Graz, Austria:  
 Markov Aggregation & Information Bottlenecks

- 08.04.2014 Dr. **Dmitry Trukhachev**, Dalhousie University, Nova Scotia, Canada:  
Universal Multiple Access via Spatially Coupling Data Transmission
- 16.04.2014 Prof. **Robert Fischer**, Institute of Communications Engineering, Universität Ulm:  
Noncoherent Decision-Feedback Equalization in Massive MIMO Systems
- 26.05.2014 **Lars Palzer**, B.Sc., Signal and Information Processing Lab. (ISI), ETH Zürich, Switzerland:  
Coding for the Gaussian Channel with Intermittent Feedback
- 27.05.2014 Prof. **Andrew Thangaraj**, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology (IIT), Madras, India:  
Perfect Secrecy in Bidirectional Relaying (joint work with Shashank V. and Navin Kashyap at IISc, Bangalore)
- 05.06.2014 **Vidya Muthukumar**, B.Sc., Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology (IIT), Madras, India:  
Stochastic Decoding of LDPC Codes over GF(q): A Survey and Theoretical Analysis
- 06.06.2014 Prof. **Debarati Sen**, G. S. Sanyal School of Telecommunications, Indian Institute of Technology (IIT), Kharagpur, India:  
An Energy Efficient Scalable Medium Data Rate Wideband System Design
- 11.06.2014 Dr. **Tareq Y. Al-Naffouri**, Department of Electrical Engineering, King Abdullah University of Science & Technology (KAUST), Thuwal, Mekka, Saudi Arabia:  
Distribution Agnostic Structured Sparsity Recovery: Algorithms and Applications
- 08.07.2014 Dr. **Alex Alvarado**, Optical Networks Group, Department of Electronic & Electrical Engineering, University College London, UK:  
Distribution of L-values in Gray-mapped QAM
- 09.07.2014 **Anne Savard**, M.Sc., ETIS Lab., ENSEA /CNRS, Université Cergy-Pontoise, France:  
On the Multiway Relay Channel with Direct Links
- 09.07.2014 Dr. **Claudio Weidmann**, ETIS Lab., ENSEA /CNRS, Université Cergy-Pontoise, France:  
Coding for the Coded Side Information Problem
- 09.07.2014 Dr. **Alex Alvarado**, Optical Networks Group, Department of Electronic & Electrical Engineering, University College London, UK:  
High-SNR Asymptotics of Mutual Information for Discrete Constellations With Applications to BICM

- 14.07.2014 **Metodi Yankov**, M.Sc., Department of Photonics Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark:  
 Constellation Shaping and Discrete Constellation Optimization for Near-Capacity Achieving Digital Communication
- 17.07.2014 **Dr. Michael Lentmaier**, Department of Electrical and Information Technology, Lund University, Sweden:  
 Braided Convolutional Codes – A Class of Spatially Coupled Turbo-like Codes
- 24.07.2014 **Dr. Sina Vafi**, Department of Electrical Engineering, Charles Darwin University, Australia:  
 Serially Concatenated Codes with Cyclic Euclidean Geometry LDPC and Convolutional Codes
- 25.07.2014 **Navid Reyhanian**, B.Sc., University of Tehran, Iran:  
 On the Capacity of Broadcast Erasure Channels with Feedback
- 25.07.2014 **Farideh Rezagah**, B.Sc., Polytechnic School of Engineering, New York University, NY, USA:  
 Interactive Relay Assisted Source Coding
- 28.07.2014 **Dr. Roy Timo**, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, TU München:  
 Information Theory, Streaming and High-Frequency FX Trading
- 28.07.2014 **Dr. Hamed Hassani**, ETH Zurich, Switzerland:  
 Finite-Length Scaling for Polar Codes
- 13.08.2014 **Prof. Young-Han Kim**, University of California, San Diego, USA:  
 Networked Multiplexing: Relaying for Next-General Wireless Networks
- 14.08.2014 **Boulat A. Bash**, M.S., University of Massachusetts, Amherst, USA:  
 Covert Optical Communication
- 27.08.2014 **Muhammad Muhammad**, M.Sc., Institute of Communication and Navigation, Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wessling:  
 Advanced Bipartite Index Coding Protocols
- 28.08.2014 **Prof. Frank Kschischang**, University of Toronto, Canada:  
 Staircase Codes for High-Speed Optical Communications
- 03.09.2014 **Prof. Boris Kudryashov**, State University on Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia  
 Low Complexity Near-optimum Vector Quantization
- 04.09.2014 **Prof. Irina E. Bocharova**, State University on Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia  
 LDPC Codes over Famous Graphs

## Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation

Christoph Günther



Absolute carrier phase positioning remained the focal point of our work. Progress could be achieved in increasing the reliability of ambiguity resolution in general, and in the estimation of satellite biases. Carrier-phase positioning was also made more robust by extending the underlying models, e.g. including multipath. A new aspect of our work was to include measurements from additional sensors, mainly inertial but also magnetic. This greatly increased the stability of our solutions. Besides this, we were invited to investigate the potential of using cameras mounted on swarms of sensors for exploring unknown environments. This has become an interesting new working area.

Teaching was maintained at a level of seven lectures, two laboratories and one colloquium. Additionally Dr. Gabriele Giorgi will start a lecture on Visual Navigation in Fall 2014. In a series of lab experiments, students used an old Kuka robot to setup a 2.7m antenna on the roof of the building N4.

Andreas Brack joined the team in 2012, while Sebastian Knogl left us. It was a pleasure working with him. Besides his research on the conception of a new type of data relay satellite, he very much contributed to setting up the laboratory on satellite communication.

Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation (NAV) wird verwal-

tungstechnisch dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik zugerechnet und nutzt dessen Infrastruktur. Derzeit beschäftigt unser Lehrstuhl fünf wissenschaftliche Mitarbeiter:

- Dr.-Ing. Patrick Henkel,
- Dr. Gabriele Giorgi,
- Andreas Brack, M.Sc.,
- Zhibo Wen, M.Sc., und
- Chen Zhu, M.Sc.

Die drei zuletzt genannten werden durch Drittmittel finanziert. Andreas Brack ist neu zu uns gestoßen:

**Andreas Brack**, M.Sc., wurde 1988 in Wasserburg/Inn geboren. Das Bachelorstudium der Elektrotechnik an der TU München schloss er 2010 ab, das Masterstudium 2012. Für seine Masterarbeit über *Algorithmen zur beinahe MSE optimalen Zustands-schätzung in GNSS-Anwendungen mit sehr geringer Komplexität* erhielt er den *Leo Brandt Preis der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation* (DGON).

Seit Oktober 2012 befasst er sich am NAV-Lehrstuhl als wissenschaftlicher Mitarbeiter mit der Entwicklung von Algorithmen zur zuverlässigen Echtzeitpositionierung, im Speziellen im Hinblick auf die Verwendung von Satelliten aus mehreren Konstellationen. Seit Oktober 2014 betreut er die Vorlesung *Satellite Navigation*.

[Personelles](#)

[Lehre](#)

[Forschung](#)

[Beitrag Brack](#)

[Beitrag Giorgi](#)

[Beitrag Wen](#)

[Beitrag Henkel](#)

[Beitrag Zhu](#)

[Dissertation Giger](#)

[Dissertation Knogl](#)

[Drittmittelprojekte](#)

[Ausgründung](#)

[Akademische Arbeiten](#)

[Auslandsaufenthalte](#)

[Preise](#)

[Wissenschaftsgremien](#)

[Danksagung](#)

[Publikationen](#)

Im Bereich Promotionen und Habilitationen wurden folgende Fortschritte erzielt:

- Dr. *Patrick Henkel* hat 2013 die Zwischenevaluierung seiner Habilitation erfolgreich bestanden.
- Im Frühjahr 2014 wurde das Promotionsverfahren von Dr.-Ing. *Kaspar Giger* erfolgreich beendet. Sie finden die Kurzbeschreibung seiner Dissertation auf S. 129.
- Dipl.-Phys. *Sebastian Knogl* ist Anfang 2014 in die Wirtschaft gewechselt und hat seine Dissertation im Sommer eingereicht. Die Kurzbeschreibung seiner Arbeit finden Sie auf S. 130.

### Lehre

Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation – im Folgenden auch kurz NAV-Lehrstuhl genannt – bietet sieben Vorlesungen und zwei Praktika an und organisiert ein Kolloquium. Alle Lehrveranstaltungen sind für den Masterstudiengang konzipiert und werden in Englisch gehalten.

Die beiden Vorlesungen von Prof. Christoph Günther

- Satellite Navigation (im Wintersemester, Übung: Zhibo Wen),
- Differential Navigation (im Sommersemester, Übung: P. Henkel) erklären die Grundlagen und die Verfahren der funkbasierten Navigation unter Verwendung modulierter Signale und mehrdeutiger Träger.

Dr. Patrick Henkel bietet im Rahmen des laufenden Habilitationsverfahrens ebenfalls zwei Vorlesungen an:

- Precise Point Positioning (in jedem Wintersemester),
- Inertial Navigation (erst seit dem SS 2014).

Zwei unserer Lehrveranstaltungen werden schon seit Jahren von Lehrbeauftragten abgedeckt:

- Terrestrial Navigation (Wintersemester, PD Dr. Michael Meurer, DLR, Übung: Chen Zhu),
- Robot and Pedestrian Navigation (Sommersemester 2013, Dr. Patrick Robertson, DLR).

Hier werden Trägheitssensoren und Bayessche Schätzer eingesetzt, um die Position in Umgebungen zu schätzen, in denen Funksignale nicht in ausreichender Qualität empfangen werden. Auf Wunsch der Fakultät wurde für eine Übergangszeit auch die Vorlesung *System Aspects in Signal Processing* vom NAV-Lehrstuhl (Dozenten: Dr. Michael Angermann, Dr. Armin Dammann, beide DLR) übernommen.

Ab dem Wintersemester 2014/15 wird unser Angebot durch die neue Vorlesung *Visual Navigation* von Dr. Gabriele Giorgi erweitert. Die visuelle Navigation spielt in vielen Anwendungen eine zentrale Rolle, beispielsweise beim automatischen Fahren. Sie verwenden Kameras, mit denen sich die Relativbewegung bezüglich einer statischen oder dynamischen Umgebung meist sehr gut schätzen lässt. Kameras sind inzwischen so kostengünstig, dass sie vielerorts einzeln oder als Paar eingebaut werden können.

Unsere Praktika sind nach wie vor sehr erfolgreich. Das Praktikum *Satellite Navigation Laboratory* folgt einem sehr systematischen Schema. Die Studenten entwickeln schrittweise einen Empfänger und testen dessen Leistungsfähigkeit an einem Simulator. Dies ist eine gute praktische Ergänzung zu unseren Vorlesungen, die überwiegend darauf ausgerichtet sind, die theoretischen Grundlagen zu vermitteln.

Das *Satellite Communication Laboratory* erfordert demgegenüber ein hohes Maß an Kreativität, Interaktion und Selbstständigkeit. Hier konnte nach und nach unter Verwendung eines ausgerangierten Kuka-Roboters eine Antenne mit einem Durchmesser von 2.7 m aufgebaut werden, die automatisch Satelliten auf unterschiedlichsten Bahnen verfolgt.

Im Augenblick wird der S-Band Empfänger weiterentwickelt und perfektioniert. Zudem werden auch Subsysteme zur Nutzung der Antenne Raisting-1 mit 25 Meter entwickelt. Beides erfolgt im Hinblick auf eine geplante Nutzung in verschiedenen Missionen.

Hierzu gehören Missionen mit einem erdnahen Satelliten sowie mit Satelliten am Lagrange Punkt L1-Sonne-Erde und mit Navigationssatelliten.



Antenne mit 2,7 m Durchmesser auf dem Dach unseres Gebäudes N4

## Forschung

Der Forschungsschwerpunkt lag auch in diesem Berichtszeitraum im Bereich der Trägerphasenpositionierung. Allerdings werden die Arbeiten zunehmend durch das Einbeziehen anderer Sensoren ergänzt – spezifisch durch das Einbeziehen von Trägheitssensoren und Kameras.

In einem Teilprogramm konnten die Zuverlässigkeit der Schätzungen von Lage und Position erhöht und zudem die Komplexität der Schätzalgorithmen reduziert werden. Die Auflösung der Trägerphasenmehrdeutigkeit geht dabei kritisch in die Schätzung ein. Ist diese falsch, entstehen Versätze, die die vermeintlich höhere Genauigkeit zunichtemachen. Deshalb folgt der Schätzung noch ein Validierungsschritt. Dieser wertet ein Zuverlässigkeitsmaß aus, wie zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit der gefundenen Lösung. Solche Auswertungen erfolgen auch im Vergleich mit anderen Lösungskandidaten.

Alternativ dazu wird eine große Klasse von Lösungskandidaten verwendet und ihrer Wahrscheinlichkeit entsprechend gewichtet (BIE-Schätzer). Dieser Schätzer ist prinzipiell sehr komplex. Es konnte jedoch ein iterativer suboptimaler Ansatz gefunden werden, dessen Leistungsfähigkeit vielfach sehr ähnlich der des optimalen Schätzers ist, aber dessen Komplexität um Größenordnungen geringer ist.

Eine weitere Alternative, die mit der zunehmenden Zahl der Signale (GPS, Galileo, Beidou) interessant wird, ist es, nur die ganzzahligen Mehrdeutigkeiten zu Signalen zu bestimmen, die sich sehr sicher schätzen lassen. In diesem Fall ist der Gewinn gegenüber einer korrekten Schätzung aller Trägerphasenmehrdeutigkeiten unter Umständen nur geringfügig reduziert. Entsprechende Arbeiten sind in den folgenden Beiträgen beschrieben:

- *Real-Time Precise GNSS Positioning* (A. Brack),
- *Reliable Carrier Phase Based Navigation and Integrity Monitoring* (G. Georgi).

Angewandt wurden solche Ansätze nicht nur in der eigentlichen Positi-

onsbestimmung, sondern auch zur Detektion von Gradienten der Elektronenverteilung in der Ionosphäre. Diese Detektion spielt eine zentrale Rolle bei automatischen Landungen mit GPS unter Schlechtwetterbedingungen. Auch dies wird im letztgenannten Beitrag beschrieben.

Als langfristiges Ziel streben wir an, Trägerphasenmessungen absolut in Echtzeit nutzen zu können. Die absolute Positionierung bezeichnet man als *Precise Point Positioning* (PPP); diese wird bereits eingesetzt, allerdings erfordert sie heute noch eine lange Konvergenzzeit (mindestens 10 Minuten), was bei vielen Anwendungen inakzeptabel ist. Eine notwendige Voraussetzung, um die Lösung quasi in Echtzeit zu ermitteln, ist, dass die durch die Satelliten verursachten Phasenversätze im Voraus bestimmt worden sind. Auch hierzu wurden von uns algorithmische Fortschritte erzielt, welche in dem Beitrag

### *Bias Estimation for Precise Point Positioning* (Z. Wen),

beschrieben sind. In diese Schätzung gehen Modellannahmen ein: So lässt sich die Schätzung nur mit identischen Empfängern durchführen und sie gilt auch nur für diese. Unter Führung der Ausgründung ANavS, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik und der Universität Hannover haben wir deshalb ein Projekt initiiert, um diese Versätze direkt zu vermessen. Hierzu rüsten wir die Großantenne in Raisting mit einem Durchmesser von 25 Metern mit der notwendigen Messtechnik aus.

In der Luft und zur See ist die Satellitennavigation in Bezug auf Genauigkeit unschlagbar. Dies gilt allgemein immer dann, wenn genügend viele unverzerrte Signale empfangen werden. Auf Straßen ist dies meistens nicht der Fall: Brücken, Schallschutz und der übrige Verkehr verursachen Störungen. Dennoch will man auch hier mit kostengünstigen Empfängern genau navigieren. Dafür bieten sich eine Kombination aus kostengünstigem GPS-Empfänger und einem kostengünstigen Trägheitssensor an. Durch geeignete Modellierung, z.B. durch Einbezie-

hung des Codemehrwegefehlers und der Versätze des Trägheitssensors, ist es gelungen, stabile differentielle Positionslösungen zu entwickeln, die in vielen Umgebungen eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern aufweisen. Diese Arbeiten sind in folgendem Bericht beschrieben:

### *Tightly Coupled Precise Point Positioning and Attitude Determination* (P. Henkel).

Noch schwieriger wird die Situation, wenn überhaupt keine Satellitensignale mehr zur Verfügung stehen, wie beispielsweise auf fremden Planeten. Hier liegen auch typischerweise keine genauen Karten vor, sodass diese ebenfalls erstellt werden müssen. Im Projekt *Valles Marineris Explorer* wird ein solches Szenario mit Partnern bearbeitet. Dabei spielt die Erfassung von Szenen mit Kameras eine bedeutende Rolle. Mit diesem Sensor lässt sich sowohl navigieren als auch die Szene erfassen. Durch die Kooperation der Explorationsplattformen lassen sich nicht nur Szenen schneller erfassen, sondern auch zusätzliche Informationen gewinnen. Bei typischer Stereosicht sind dabei die Kameras fest miteinander verbunden. Will man ähnliche Effekte bei Schwärmen von Explorationsplattformen nutzen, müssen zumindest einzelne Kameras in dieselbe Richtung schauen. Ist das einmal gegeben, so müssen aus den Bildern heraus die gemeinsamen Bereiche identifiziert werden. Dies ist der erste notwendige Schritt. Die Arbeiten hierzu finden Sie in dem Beitrag

### *Cooperative Vision-based Swarm Navigation* (C. Zhu).

Es folgen die fünf ausführlicheren Beschreibungen unserer laufenden Forschungsarbeiten und anschließend die Zusammenfassungen der beiden Dissertationen.

## Real-Time Precise GNSS Positioning

Andreas Brack

Für genaue (Zentimeter-Level) Positionslösungen in Echtzeit ist die Verwendung von Trägerphasenmessungen unerlässlich. Allerdings können diese nur nach Auflösung der ganzzahligen Mehrdeutigkeiten als hochgenaue Laufzeitmessungen verwendet werden. Eine *zuverlässige* und *schnelle* Auflösung aller Mehrdeutigkeiten ist oftmals nicht gleichzeitig möglich.

Bei unseren Arbeiten hat sich gezeigt, dass zur Erreichung einer zufriedenstellenden Genauigkeit eine nur teilweise Auflösung der Mehrdeutigkeiten ausreichend sein kann, was zu schnelleren Lösungen führt. Dies gilt insbesondere dann, wenn mehrere Systeme – wie GPS, Galileo und Beidou – kombiniert werden.

In Global Navigation Satellite System (GNSS) based positioning, two types of measurements are available at the receiver: the code-based pseudoranges and the carrier-phases. The latter ones are roughly two orders of magnitude less noisy, but can only be determined up to an integer multiple

of complete cycles due to the periodicity of the carrier-signal. Successfully resolving the unknown number of cycles between satellites and receiver as integer values transforms the carrier-phase measurements to very precise pseudoranges, thus making a highly accurate estimate of the user position possible. This technique is the key to fast and precise GNSS positioning, i.e., without the need of long convergence times of purely code-based solutions.

Estimating the integer ambiguities in the maximum likelihood sense (also referred to as integer least-squares, ILS) corresponds to the problem of finding the closest integer grid point. As the ambiguities are highly correlated, this is a non-trivial task which requires a search in the integer domain.

From a geometrical point of view, the ILS estimator is fully characterized by its hyper-hexagonal pull-in regions (see figure) corresponding to each single integer grid point. All ambiguity realizations that fall within the pull-in region of a specific integer grid point are resolved as this integer vector.

Although the ILS estimator maximizes the probability of a correct ambiguity estimate, severe biases in the position solution may be intro-

duced, if the ambiguity resolution is not successful. For that reason, ambiguity validation is an important issue. Thereby, a user-defined, maximum tolerable rate of an incorrect ambiguity estimate must not be exceeded. This problem is usually approached by testing the best integer candidate vector against the second best, where best is defined in the maximum likelihood sense. The integer solution is only accepted, if this test is passed.

Particularly with regard to upcoming multi-GNSS solutions, where the signals of different GNSS like GPS, Galileo, and Beidou, are combined (maybe even on multiple frequencies), it is not necessarily required to resolve the full set of ambiguities. In order to reach a satisfying level of accuracy, it may be sufficient to resolve a subset of ambiguities.

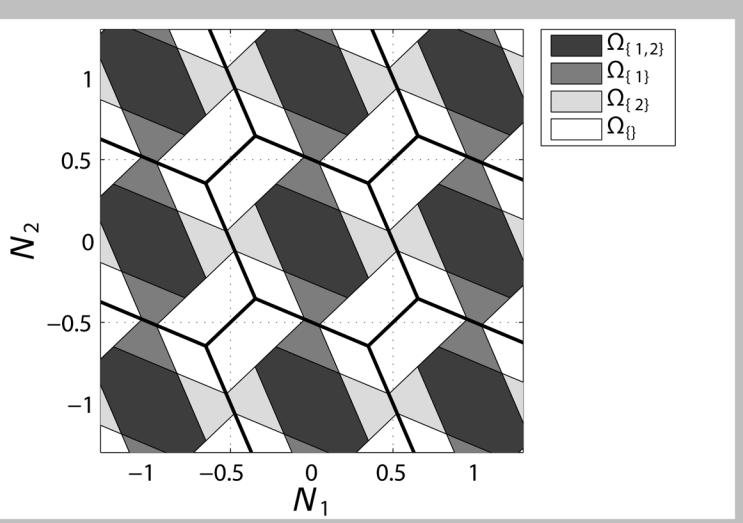
A general definition of a new class of ambiguity estimators was developed at NAV, which is based on the concept of generalized pull-in regions. A generalized pull-in region is not only characterized by an integer vector, but also by a set of indexes corresponding to the subset of ambiguities that are resolved as integers.

For one specific realization of this class, these generalized pull-in regions are presented in the figure for the two-dimensional case. There exist four different index sets, as each of the two ambiguities can either be resolved or not.

Numerical simulations showed that partial ambiguity resolution can drastically reduce the average convergence time.

### Literature:

- [1] Brack, A.; Günther, C.: Generalized Integer Aperture Estimation for Partial GNSS Ambiguity Fixing. In: *Journal of Geodesy*, vol. 88, no. 5, pp. 479–490, May 2014
- [2] Brack, A.: On Reliable Data-Driven Partial GNSS Ambiguity Resolution. In: *GPS Solutions*, published online: DOI 10.1007/s10291-014-0401-9, Sept. 2014



Generalized pull-in regions for partial ambiguity resolution

Das Landen von Flugzeugen stellt besonders hohe Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Positionierung. Ionosphärische Gradienten zwischen dem Flugzeug und Referenzstationen am Flughafen können die Positionsgenauigkeit signifikant reduzieren und müssen daher bestimmt werden. Für eine präzise Bestimmung dieser Gradienten ist die Verwendung der Trägerphase, die mit Millimeter-Genauigkeit verfolgt werden kann, erforderlich. Die Trägerphase ist allerdings periodisch und erfordert daher die Bestimmung einer Mehrdeutigkeit für jeden Satelliten.

Es konnte ein neuer ganzheitlicher Ansatz zur Detektion von horizontalen ionosphärischen Gradienten gefunden werden, der den Einfluss der Mehrdeutigkeiten auf detektierbare Gradienten durch eine geschickte Kombination von verschiedenen Basisslinien eliminiert.

Global Navigation Satellite Systems (GNSSs) are being increasingly employed for aviation applications to provide accurate position, velocity and attitude estimations.

Next to pseudorange measurement, a GNSS user can benefit from the more precise carrier-phase observations, which enable increasing the ranging precision by two orders of magnitude [1]. A primary area of application for carrier phase-based positioning is the development of integrity monitors for detecting atmospheric biases, which could degrade the corrections sent from an array of reference stations to an aircraft during the final approach at an airport.

We have developed a carrier-phase integrity monitor capable of detecting small differential ionospheric delays (gradients) through an arbitrarily large array of reference GNSS antennas.

A fundamental issue to be addressed when designing a carrier-phase integrity monitor is the coupling between integer ambiguity res-

olution and unmodelled observation biases that could go undetected and cause integrity failures.

The process of fixing the carrier phase ambiguities to their correct integer value (ambiguity resolution) is sensitive to the presence of observations biases that could trigger an ambiguity slip. This causes the bias to be absorbed, wholly or partially, by the integer vector, thus preventing a reliable detection of biased observations.

This problem is solved in our monitor by exploiting the relationship between the ionospheric gradient and its projection onto the baseline observations (i.e., the differential measurements between any two antennas of the array). Different baseline orientations and lengths cause different biases to be produced in the corresponding carrier-phase measurements. Our monitor exploits this differential effect to detect the presence of small biases in all possible combinations of independent couples of baselines formed by any three antennas in the array.

The statistics of the integrity test have been derived in analytical form, taking into full account the integer nature of the carrier-phase observations [2-3]. The derivation of the statistical properties of the integrity monitor developed has a twofold benefit.

First, the probability distribution of the integrity test enables the exact computation of the statistical detection threshold to be applied in order to achieve a pre-determined level of probability of false alarm (i.e., the integrity monitor giving an unnecessary warning) and missed detection (i.e., the integrity monitor not giving an alarm when necessary).

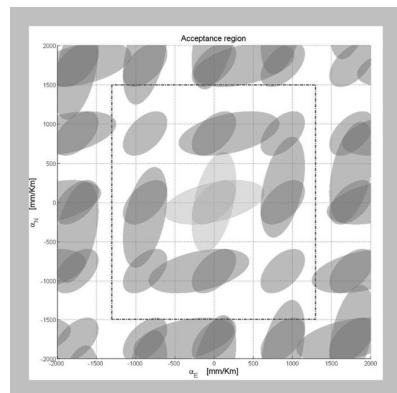
Second, the performance of the monitor can in principle be given without any empirical overbounding, thus allowing for increased system availability.

We have also analyzed how to optimally distribute the antennas in the

array in order to maximize the probability of detecting the smallest biases. Numerical simulations showed the strong performance of the integrity monitor, capable of detecting ionospheric gradients as small as a few tens of millimeters per kilometer with just a five-antenna array.

## Literature:

- [1] Teunissen, P.J.G.: Least Squares Estimation of the Integer GPS Ambiguities. Invited Lecture, Section IV Theory and Methodology. In: *IAG General Meeting*, Beijing, 1993
- [2] Giorgi, G. On Ionosphere-induced Error Detection for GNSS Integrity Monitoring. In: *AIAA-IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, March 2014
- [3] Giorgi, G.; Henkel, P.: Ionospheric Planar Gradient Detection with Carrier Phase-only Measurements. To be published: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics*, 2014



The integrity monitor analyzes multiple baseline couples, each with its own region of undetectable biases (the various ellipses of different shade of gray). The combination of these regions enables a drastic reduction of the overall region of undetectable biases (the intersection of ellipses), enabling the prompt detection of small ionospheric gradients.

## Bias Estimation and Validation for Precise Point Positioning

Zhibo Wen

Eine präzise absolute Positionsbestimmung erfordert die Kenntnis der systematischen Phasenversätze. Man kann diese nur dann zentimetergenau bestimmen, wenn man ein Netzwerk von Referenzstationen verwendet, die Doppeldifferenz-Mehrdeutigkeiten im Netzwerk auflöst und sämtliche Signalverzögerungen mit einem Gesamtfehler von wenigen Zentimetern bestimmt. Ein solches Verfahren wird hier vorgestellt.

Precise point positioning allows a standalone receiver to achieve centimeter-level positioning accuracy without the need of a reference station. To resolve the integer ambiguities in the phase measurements, the phase biases need to be precisely known and corrected. This work focuses on the development of methods for the phase bias determination and their validation to enable precise point positioning.

Each satellite-receiver link has a certain bias, which may be caused by an instrumental delay. Assuming that the biases on the links can be separated into a satellite and a receiver

part, the biases can be estimated with a network of stations [1].

An algorithm for precise point positioning was developed. It uses a Kalman filter and the code as well as phase measurements on two frequencies. The precise satellite orbit and clock offsets, the solid earth tides, the phase wind-up, the satellite phase center offset and variation are all used to correct the measurements. The estimated variables include the receiver coordinate and clock offset, the ionospheric delay, the tropospheric zenith delay and the integer ambiguities. The ambiguities are kept as floating point numbers if no prior information on phase biases is provided. A new approach was developed to estimate the phase biases with a network of receivers in three steps.

First, a reference station is chosen. The code and phase measurements at the other stations are double-differenced (DD) with respect to the reference station. A Kalman filter is applied to estimate the baseline vectors between the reference station and all other stations, the DD ionospheric delays, and the DD ambiguities. The ambiguities are fixed for each pair of stations with the LAMBDA method.

Secondly, phase-only measurements are reconsidered and corrected for the fixed DD ambiguities. The baseline and DD ionospheric delays

are re-adjusted with centimeter-level accuracy. In the last step, the between satellite single-differenced (SD) satellite phase biases are estimated with the complete network of stations. The previously fixed parameters (baseline vectors, DD ionospheric delays, DD ambiguities) are reused. All SD of the parameters are expressed in terms of the SD at one common reference station and the DDs between the other stations and the common reference station to fully benefit from the integer property of DD ambiguities.

A small network of 4 SAPOS stations in Bavaria has been chosen to test the algorithm. The baseline length lies in the range of 50 km to 100 km. Fig.1 shows the SD carrier phase residuals after the three-step phase bias estimation. An accuracy of 2–3 cm is reached, the ultimate limitation being multipath. These promising results were obtained for receivers of the same type. A generalization requires that the group and phase delay are known as a function of frequency. Corresponding measurements using the 25 m antenna in Raisting are currently being prepared.

### Literature:

- [1] Wen, Z.; Henkel, P.; Günther, C.: Precise Point Positioning with Estimation of Code Multipath Subset. In: Int. IEEE Symp. ELMAR, Sep. 2013

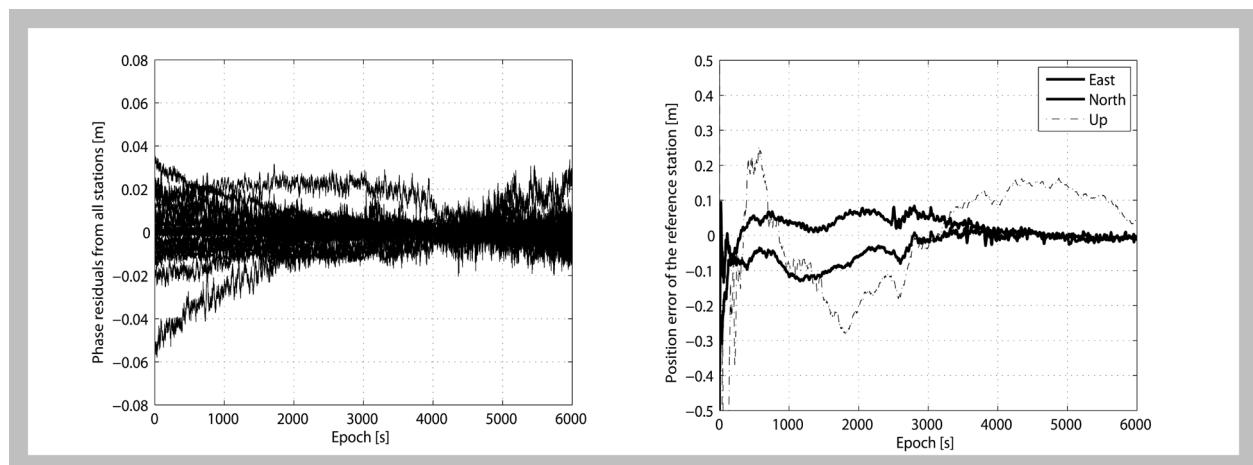


Fig. 1 Phase residuals from all stations, which start from under 5 cm and are converged to under 2 cm. At the end the phase residuals increase a little due to multipath. Fig. 2 Position error from precise point positioning applying phase bias correction. The east and north (in solid) converged quickly to cm level, while the up (in dash) has larger variation due to multipath.

# Tightly Coupled Precise Point Positioning and Attitude Determination

Patrick Henkel



Das autonome Fahren von Fahrzeugen stellt besonders hohe Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Navigationssystemen. Die Satellitennavigation liefert eine hochgenaue absolute und driftfreie Positions- und Lageinformation. Die Signale sind allerdings sehr empfindlich gegenüber Umgebungsbedingungen, das heißt, es kann zu Phasensprüngen, Mehrwegefehlern und Signalabschattungen kommen. Die Inertialnavigation liefert ihrerseits hochratige Beschleunigungs- und Drehratenmessungen, die zwar robust gegenüber den Umgebungsbedingungen, aber bias-behaftet sind. Die beiden Sensoren verhalten sich komplementär. Wir haben eine Sensorfusion mit einem erweiterten Kalman-Filter durchgeführt. Unsere eng gekoppelte Lösung verbessert gegenwärtige Ansätze durch (a) die Verwendung eines verbesserten Modells der Messdaten, (b) durch eine Synchronisierungskorrektur zur Wiederherstellung der Ganzahligkeit der Mehrdeutigkeiten, (c) durch eine zusätzliche Schätzung des Code-Mehrwegefehlers für jeden Satelliten und Empfänger zur Nutzung der zeitlichen Korrelation der Code-Mehrwegefehler, und (d) durch eine Bestimmung der absoluten Trägerphasenmehrdeutigkeiten.

A precise and reliable estimate of position and attitude is essential for autonomous driving. Satellite navigation enables precise unbiased absolute position and attitude determination. However, satellite signals are very sensitive to the environment, and are affected by code multipath, half cycle slips and losses of lock. Inertial sensors provide high rate acceleration and angular rate measurements, which are robust to the environment. Thus, both sensors complement each other. A sensor fusion combines the advantages of both sensors.

We have developed a joint *Precise Point Positioning and Attitude Determination Method* with tight

coupling of GPS and INS. The absolute position, velocity, acceleration, attitude, angular rates, absolute and relative ambiguities and phase biases, code multipath and biases of the accelerometer and gyroscope are determined by an extended Kalman filter. The state vector is updated with GNSS and INS measurements.

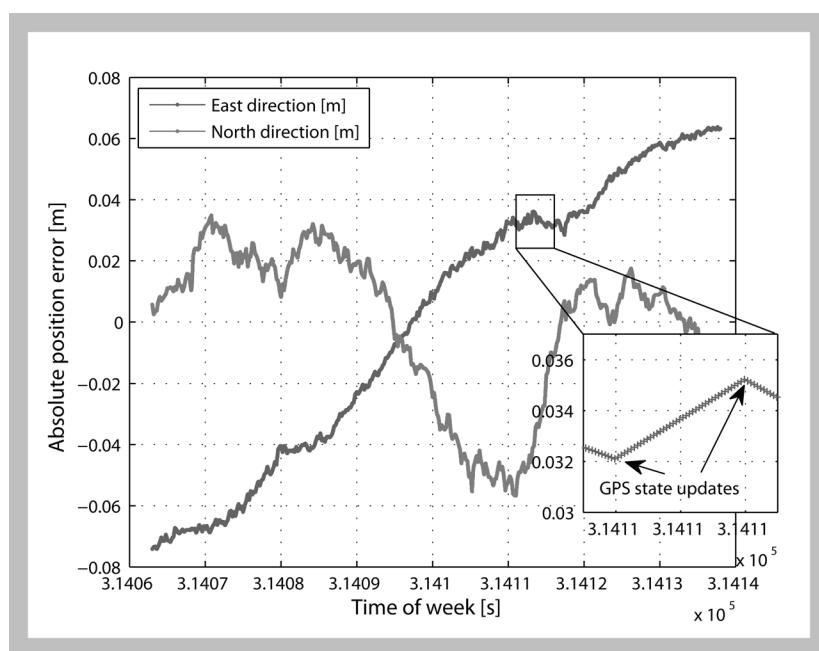
Our method improves classical tightly coupled solutions (a) by using more precise measurement models, (b) by including a synchronization correction to compensate asynchronous measurements, (c) by the estimation of a code multipath parameter for each satellite and receiver to exploit the temporal correlation of multipath, and (d) by the additional determination of satellite-satellite single difference ambiguities. Corrections for the satellite phase biases and ionospheric delays are additionally used. We determine these corrections with a local network of static single-frequency GNSS receivers. These receivers can separate biases and ionospheric delays only by the temporal change of the mapping function. As the change is rather slow, we have included statistical a priori information on its

vertical ionospheric delay. A precise synchronization of GNSS receivers and inertial sensors is a pre-requisite for sensor fusion. We determine the timing offsets by integrating the heading once with GPS and once with INS and by searching the correlation maximum.

We have tested our method in several test drives with two low-cost u-blox LEA 6T GPS receivers and the MPU 9150 from Invensense. The accuracy of our solution was on the order of a few millimetres for the relative position and on the order of a few centimeters for the absolute position (shown below).

## Literature:

- [1] Henkel, P.; Iafrancesco, M.: Tightly Coupled Position and Attitude Determination with Two Low-Cost GNSS Receivers. Invited paper: *11<sup>th</sup> Intern. IEEE Symposium on Wireless Communication Systems*, Barcelona, Spain, Aug. 2014



Absolute positioning accuracy of tightly coupled GPS/ INS

## Cooperative Vision-based Swarm Navigation

Chen Zhu

Bildbasierte Positionierungs- und Navigationssysteme nehmen eine Schlüsselrolle in Explorationsaufgaben von autonomen Robotern ein. Dies gilt im Besonderen für Anwendungen, in denen kein Satellitenempfang möglich ist. In den vergangenen Jahren wurden zunehmend Gruppen von Robotern betrachtet, die als Schwarm kooperativ agieren und damit die Robustheit und Performance der Positionierung verbessern.

Die Kenntnis des gemeinsamen Bildausschnitts von den Kameras verschiedener Roboter ist dabei essentiell. Wir haben eine adaptive Detektionsmethode für die Bestimmung des gemeinsamen Bildausschnitts entwickelt, die eine Gruppierung von Merkmalen durchführt.

Autonomous robotic exploration missions usually rely on several sensors such as IMUs, laser scanners and cameras to navigate the robots. In recent years, vision systems based on cameras have raised significant

interest in the field of navigation and exploration, since cameras can provide a great amount of information and a high level of detail about the environment. They thus play a central role in GNSS denied environments, particularly for planet exploration such as Mars. VSLAM (*Visual Simultaneously Localization and Mapping*) has shown a promising performance for navigation and mapping in the absence of a priori knowledge. VSLAM uses images from stereo or monocular cameras to determine the coordinates of feature points as well as the location and attitude of the camera [1]. Swarms are being used to increase the robustness against hazards in the missions, such as getting stuck in sand. It also allows the improvement of the exploration efficiency [2]. The swarms are composed of autonomous units, such as rovers or quadrocopters, for example. Sensor fusion becomes more demanding in this context, since the sensors are attached to independently controlled platforms. The common field-of-view (FOV) of cameras mounted on two platforms needs to be characterized. This is the basis for matching features in the images. The common FOV depends on the dis-

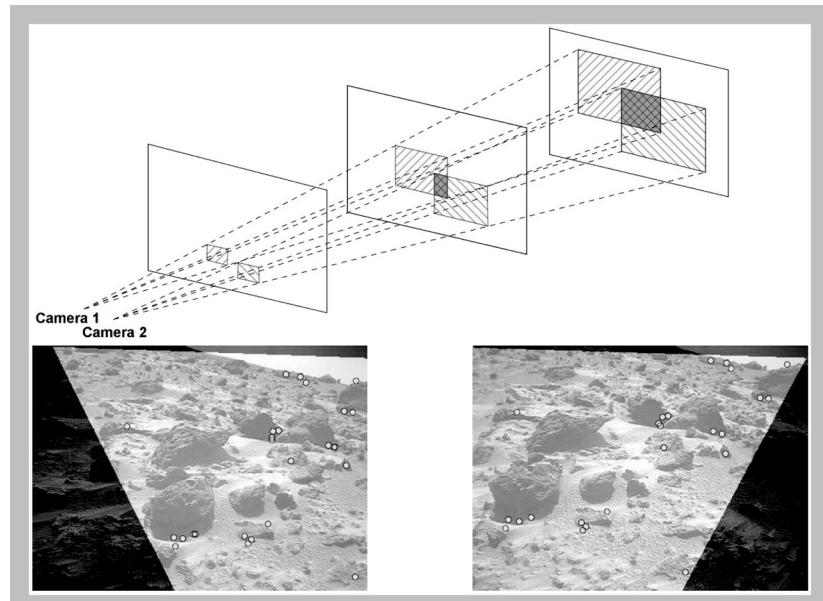
tance from objects in the scene to the cameras. A radio-based ranging and communication system enables potential solutions for this problem [3].

Alternatively, an adaptive common FOV detection can be considered. It uses the assumption that most features are distributed close to some planar surfaces. The time-variant baseline between the cameras is obtained from radio based ranging. This allows matching the feature points from two cameras on different swarm elements. If not enough matching can be achieved, the common FOV is marked as too small to be processed. Otherwise the features are triangulated in the 3D space. For cases with enough overlapping views, a fuzzy plane clustering algorithm is implemented to detect feature planes. The feature planes are merged according to visibility and are projected back on both image planes to determine the common FOV of the camera pair.

The method is proved to be invariant to baseline scale change, and is tested on different stereo images. In addition, the common FOV of each pair of cameras can be used as a metric for autonomous grouping of swarm elements.

### Literature:

- [1] Karlsson, N.; Di Bernardo, E.; Ostrowski, J.; Goncalves, L.; Pirjanian, P.; Munich, M.: The VSLAM Algorithm for Robust Localization and Mapping. In: *IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automation*, April 2005
- [2] Sand, S.; Zhang, S.; Mühllegg, M.; Falconi, G.; Zhu, C.; Krüger, T.; Nowak, S.: Swarm Exploration and Navigation on Mars. In: *Proc. of Int'l. Conf. on Loc. and GNSS (ICL-GNSS)*, Torino, Italy, June 2013
- [3] Zhang, S.; Sand, S.; Raulefs, R.; Staudinger, E.: Self-Organized Hybrid Channel Access Method for an Interleaved RTD-based Swarm Navigation System. In: *Proc. of Workshop on Positioning, Navigation and Comm.*, Dresden, Germany, 2013



Top: Depth impact on common FOV. Bottom: common FOV detection

## Multi-Signal Tracking in GNSS

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. techn. Dr. h.c. Josef A. Nossek  
1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Günther  
2. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gert F. Trommer (KIT)



Tag der mündlichen Prüfung: 09.04.2014

In Zukunft werden Global Navigation Satellite Systems (GNSS) zunehmend auch in sicherheitskritischen Bereichen eingesetzt. Gerade dort wird aber eine hohe Genauigkeit der geschätzten Empfängerposition vorausgesetzt. Eine solche kann nur mit Trägerphasen-basierten Navigationsansätzen erreicht werden. Dazu ist eine unterbrechungsfreie Messung der Trägerphasen der empfangenen Satellitensignale notwendig.

Die heutigen Satellitennavigationsempfänger basieren auf Regelschleifen, die unabhängig voneinander die verschiedenen Empfangssignale verfolgen und vermessen. Mehrwegeausbreitung, Abschattung durch die Umgebung des Empfängers oder atmosphärische Einflüsse wie ionosphärische Szintillationen können zu starken Signalpegelschwankungen einzelner Signale führen.

Aufgrund der Unabhängigkeit der Regelschleifen im Empfänger führen solche Effekte zu einem Verlust der Phasensynchronisation im Empfänger. Wenn der Empfänger später die Synchronisation der Phase des entsprechenden Empfangssignals wiederherstellen kann, hat er mit großer Wahrscheinlichkeit eine unbekannte Anzahl Zyklen des Trägers übersprungen.

Ziel dieser Dissertation ist es, die Phasenregelschleifen im Empfänger so zu gestalten, dass kurze Unterbrechungen kompensiert werden können, ohne dass Phasensprünge auftreten. Durch das Ausnützen der spektralen und räumlichen Korrelation der Phasen der empfangenen Satellitensignale können dabei schwache Signale von den stärkeren profitieren.

Diesen Ansatz verfolgt die vorgeschlagene *Joint Tracking Loop* (JTL). Darin werden die Signale nicht mehr

in separierten Regelschleifen verarbeitet, sondern in einer einzigen globalen Regelschleife. Mit Flugversuchen konnte dieser Ansatz erfolgreich getestet und verifiziert werden.

With the deployment of new satellites and new systems, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), such as GPS, GLONASS, or Galileo, gained much attention in the last decade, not only in the field of Geo-sciences. In the near future satellite navigation will be used even in safety critical applications.

The current receiver design originates from early works in the field of spread-spectrum information transmission: a delay locked loop (DLL) tracks the received satellite signals' code phase, a phase locked loop (PLL) the carrier phase. For each of the received signals a separate DLL and PLL is setup.

The GNSS receiver can only achieve a high navigation accuracy with carrier phase based navigation approaches, e.g. real-time kinematic (RTK). The carrier phase ranging measurement of the PLL however is ambiguous by an integral number of wavelengths and requires complex algorithms to resolve the ambiguity. These algorithms all rely on a continuous measurement of the carrier phase.

The traditional receiver design with DLL and PLL suffers from strong fading and short outages of the satellite signal, caused by shadowing due to the receiver's immediate environment, multipath interference, or atmospheric effects such as ionospheric scintillation. Any of these effects could cause the receiver to slip cycles of the carrier or lose carrier phase lock to the corresponding signal. After the receiver regained

phase lock the carrier ambiguity likely changed (cycle slip), requiring again a time-consuming ambiguity resolution. The objective of this dissertation is the development of a receiver architecture featuring a reduced risk of cycle slips and losses of lock.

A detailed analysis of carrier and code phase of all the received satellite signals reveals that they are strongly correlated: they all relate to the same receiver location and receiver clock offset. In this work the joint tracking loop (JTL) is proposed to exploit the signals' spatial and spectral correlations in the tracking loops. The novel design consists of one core feedback tracking loop locking to code and carrier phase of each signal. Hence strong channels aid the tracking of the weak or masked signals.

The JTL algorithm was successfully tested with data recorded during two flight trials in the regions of Innsbruck (A) and Braunschweig (D). These tests have been the first and unique demonstration of a truly coherent multi-satellite multi-frequency tracking in GNSS.

Two extensions of the concept of joint satellite code and carrier tracking were also discussed in this work:

First, the combination of the well-known vector delay locked loop (VDLL) and the JTL aiming at a high navigation precision for stand-alone receivers but still offering a robust carrier phase tracking.

Second, the extension of the multi-satellite multi-frequency tracking to multiple receive antennas. In contrast to traditional digital beamforming the proposed receiver exploits the spatial degrees of freedom by estimating the receiver's orientation in space rather than by suppressing interference or multipath.

## Geostationary Data Relays for Low Earth Orbit Satellites

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Eibert

1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Günther

2. Berichter: Prof. Michel Bousquet, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE)

Tag der Annahme durch die Fakultät EI: 02.07.2014

Die Arbeit beschreibt ein neues Kommunikationskonzept für geostationäre (GEO) Datenrelais-Satelliten. Das Datenrelais ermöglicht es, eine größere Anzahl von Low Earth Orbit (LEO) Satelliten gleichzeitig durch Intersatelliten-Links anzubinden. Mit dem neuen Konzept werden die Signale der LEO-Satelliten auf ein Array von Einzelstrahlern abgebildet, die immer dann aktiviert werden, wenn sie durch einen LEO-Satelliten angestrahlt werden. Über eine neue Schaltmatrix werden die empfangenen Signale zu transparenten Transpondern weitergeleitet. Die Signalverteilung auf dem Antennenarray wird genutzt, um die Lage des GEO-Satelliten zu schätzen. Die Position des GEO-Satelliten wird bestimmt, indem die LEO-Satelliten als Navigationssatelliten genutzt werden. Es ist geplant, Teile des Konzeptes mit den Satelliten Heinrich-Hertz (DLR) und OPS-Sat (ESA) zu validieren.

Satellite services play a fundamental role in modern society. Besides television broadcasting, communication services and navigation solutions, Earth observation becomes more and more important. New applications for agricultural and ecological surveillance require data from satellite resource monitoring. Disaster response and rescue operations need information about the affected areas of operation. The military and intelligence use such capabilities as well. Finally, tracking services for vessels and aircrafts demand access to position and telemetry data collected by satellites for traffic planning and security.

The resolution of the cameras and radars used in Earth observation steadily increases. This leads to

a tremendous growth in the data volumes. In the future, a larger downlink capacity will be necessary. Furthermore, the data for applications like air traffic surveillance is useful only for a very short period of time. These applications need a real-time access to the satellites.

Geostationary (GEO) relay satellites offer an attractive perspective for providing the required connectivity. Traditional approaches, however, become complex when many satellites are to be served simultaneously. This thesis proposes a new approach with reduced complexity.

The geostationary data relay is designed to serve a large number, say 15, Low Earth Orbit (LEO) satellites concurrently. Data rates of 30-100 Mbit/s per LEO-GEO intersatellite link meet the required downlink capacity of many current and future LEO satellite missions. The GEO satellite is kept simple. Transparent transponders make the concept flexible for future modulation or coding schemes.

The GEO satellite requires an antenna system which is able to serve the 15 LEO satellites simultaneously. For this purpose, a new antenna concept was developed. The reflector setup of the antenna system was designed to map the radiation from LEO satellites at different positions on separate spots on an antenna array. This requires a special aplanatic reflector setup. The antenna array consists of 1600 patch antennas which are dynamically grouped in 2x2 sub-arrays. The sub-arrays are activated according to the movement of the LEO satellites. A switch unit enables reconfiguring the sub-arrays. It also routes the Radio Frequency (RF) signals to the transponders. The required number of transponders is

limited to the number of supported LEO satellites, thus providing a cost-efficient design. The switch unit uses Micro Electromechanical System (MEMS) switches to save space and weight.

The performance of the system is dependent on the choice of the active 2x2 sub-arrays following the LEO satellite movements. In order to determine the optimal choice, both the information about the GEO satellite antenna pointing and the GEO satellite antenna position is required. Two cost-efficient estimation methods were developed to provide this information. The antenna pointing is estimated by matching the 2x2 sub-arrays receiving the highest LEO satellite signal power levels with the nominal locations of the mapped LEO satellites. The latter are determined with a high accuracy using Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Simulations show antenna pointing accuracies of < 0.05°.

The GEO satellite position is estimated using the LEO satellites as navigation satellites. Pseudo-range measurements on the LEO-GEO inter satellite links supported by two-way GEO-Earth range measurements enable a position estimation similar to GNSS positioning. Simulation results show real-time GEO satellite positioning accuracies on the order of meters and post processed accuracies on the order of centimeters.

It is planned to validate some of the concepts developed in this thesis in satellite experiments. They shall be performed on the geostationary satellite Heinrich-Hertz of the German Aerospace Center (DLR) as well as on the OPS-Sat satellite of the European Space Agency (ESA).

## Drittmittelprojekte

Im Berichtszeitraum 10/2012 – 09/2014 hat der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation vier von der deutschen Raumfahrtagentur geförderte Projekte bearbeitet:

- Sebastian Knogl hat im Rahmen des Projektes *GEOPOS* ein hochgenaues Positionierungssystem für geostationäre Satelliten mit Spotbeams konzipiert.
- Dr. Kaspar Giger hat im Projekt *LINGAT* ein Verfahren zum gemeinsamen Tracking der Trägerphasen von mehreren Antennen entwickelt und in mehreren Flugversuchen verifiziert.
- Am NAV-Lehrstuhl wird im Projekt *PPP und Intra-Satellitenbias* das Konzept für die Versätze-Bestimmung entwickelt sowie die Messungen und deren Auswertung vorbereitet. Projektpartner sind die Firma ANavS, der Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik der TU München und die Universität Hannover.
- Zudem werden an unserem Lehrstuhl im Forschungsprojekt *Valles Marineris Explorer* Bausteine zur visuellen Navigation und Umgebungserfassung entwickelt. Projektpartner sind die TU Braunschweig, das DLR und der Lehrstuhl für Systemdynamik der TU München.

Im bayerischen Projekt *BayKoSM* tragen wir zur sehr genauen relativen Positionierung von Robotern mit sehr kleinen kostengünstigen Empfängern bei.

## Ausgründung

Die Ausgründung *Advanced Navigation Solutions* (ANavS) hat sich zum Ziel gesetzt, Verfahren der Satellitennavigation in Form von Software-Lösungen anzubieten. Der Schwerpunkt liegt auf kostengünstigen Systemen zur Lagebestimmung und zur Relativpositionierung.

Die Entwicklungen haben inzwischen ein hohes Maß an Stabilität erreicht. Es werden verschiedene Produkte angeboten und es konnten einige Demonstrations- und Testsysteme verkauft werden. Wichtiger Bestandteil der Arbeiten ist die Integration in Kundenplattformen.

## Akademische Arbeiten

Im Berichtszeitraum (Oktober 2012 – September 2014) wurden acht Masterarbeiten betreut:

- Jean-Bapiste Gigant: *Optimization of Pseudolite Pulsing Schemes and the Implementation for Participative Receivers*, Oct. 2012,
  - Joan Erencia Guerrero: *Ionospheric Monitoring in GBAS using Dual-Frequency GNSS*, Nov. 2012,
  - Juan José Pimento Emiliani: *Joint Heading Estimation with Low-cost GNSS Boards and Inertial Sensors*, Jan. 2013,
  - Juan Manuel Cardenas: *Precise Attitude Determination with Low-cost GNSS Receivers*, Mar. 2013,
  - Christoph Bamann: *Common-field-of-view of Cameras in Robotic Swarms. Autonomous Detection and Application to Vehicle Grouping*, May 2013,
  - Jane Jean Kiam: *Low-cost GPS-based Compass with Reliable Ambiguity Resolution and Cycle Slip Correction*, Sept. 2013,
  - Nataliya Mishukova: *RTK and PPP with Galileo and GPS*, Dec. 2013,
  - Yuji Zhu: *Ionospheric Bias Estimation with Kriging*, Jul. 2014.
- Des Weiteren wurden im gleichen Zeitraum noch drei Bachelorarbeiten abgeschlossen:
- Carl Felix Hammes: *Heading Estimation with Novatel's Low-cost OEMStar Receiver*, Dec. 2012,
  - Naoya Julien Oku: *Integration of a Low-Cost Inertial Measurement Unit in a GPS Based Heading Estimation System*, Dec. 2013,
  - Simon Bilgeri: *Three-View RGB-D System and its Spatial Uncertainty Model*, Jul. 2014.

## Auslandsaufenthalte

Professor Teunissen hat das Gebiet der trägerphasenbasierten Navigation maßgeblich geprägt. Drei Mitarbeiter besuchten ihn an der *Curtin University of Technology* in Perth, Australien:

- Dr. Patrick Henkel im Oktober 2013,
- Dr. Gabriele Giorgi vom 15.10. bis zum 07.12.2013, und
- Andreas Brack im März 2014.



## Preise

- Andreas Brack erhielt für seine Masterarbeit den *Leo Brandt Preis 2013* der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation.
- Jane Jean Kiam wurde für ihre Masterarbeit mit dem *VDI-Preis 2013* ausgezeichnet.
- Zhibo Wen gewann einen *Best Presentation Award* an der ION GNSS 2012

## Tätigkeiten von Prof. Günther in Wissenschaftsgremien

- Mitglied der *Mission Evolution Advisory Group* (MEAG) der Europäischen Union (für Galileo und EGNOS),
- Mitglied im Programmausschuss des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt* (DLR),
- Mitglied im *Fachausschuss 5.1 der ITG/VDE* (Informations- und Systemtheorie),
- Mitglied im Kuratorium für die Vergabe des Technologiepreises der *Eduard-Rhein-Stiftung*,
- Mitglied im Kuratorium der *Carl-Cranz-Gesellschaft*,
- Mitglied im Programmausschuss der *Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt* (DGLR),
- Mitgliedschaften bei verschiedenen Tagungskomitees (ION ITM, ION GNSS, ELMAR, AIAA/IEEE Conference).

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor *Gerhard Kramer*, Inhaber des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik, und Herrn Professor *Norbert Hanik* für ihre Gastfreundschaft am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik danken. Ebenso geht mein Dank an Herrn Professor *Günter Söder* für die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung dieses Tätigkeitsberichtes.

### Zeitschriftenpublikationen

Brack, A.: On Reliable Data-driven Partial GNSS Ambiguity Resolution In: *GPS Solutions*, Sep. 2014

Brack, A.; Günther, C.: Generalized Integer Aperture Estimation for Partial GNSS Ambiguity Fixing. In: *Journal of Geodesy*, Feb. 2014

Brack, A.; Henkel, P.; Günther, C.: Sequential Best Integer-Equivariant Estimation for GNSS. In: *Navigations*, Jun. 2014

Giorgi, G.: Low-Complexity Instantaneous Ambiguity Resolution with the Affine-Constrained GNSS Attitude Model. In: *IEEE Trans. Aerospace & Electr. Systems*, Jul. 2013

### Konferenzpublikationen

Brack, A.; Henkel, P.; Günther, C.: Sequential Best Integer-Equivariant Estimation for Geodetic Network Solutions. In: *ION ITM 2013*, San Diego, CA, Jan. 2013

Donner, A.; Bischl, H.; Greda, L.; Katona, Z.; Brück, M.; Figur, S.; Schönlinner, B.; Gräßlin, M.; Haubold, M.; Wiemer, M.; Knogl, J.S.; Pamp, J.: Geostationary Data Relay Satellites for Earth Observation: The GeReLEO Concept. In: *62. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress*, Stuttgart, Sep. 2013

Giorgi, G.: Single-baseline GNSS Attitude Determination: The Problem of Degenerate Solutions. In: *IEEE Int. Symp. ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2013

Giorgi, G.: On Ionosphere-induced Error Detection for GNSS Integrity Monitoring. In: *AIAA-IEEE Aerosp. Conf.*, Big Sky, MT, USA, Mar. 2013

Henkel, P.; Berthold, P.; Günther, C.: Tightly Coupled Position and Attitude Determination with Two Low-cost GNSS Receivers, a Gyroscope and an Accelerometer. In: *Int. Symp. CERGAL*, Dresden, Aug. 2014

Henkel, P.; Berthold, P.; Kiam, J.J.: Calibration of Magnetic Field Sensors with Two Mass-market GNSS Receivers. In: *IEEE Workshop on Positioning, Navigation & Communications*, Dresden, Mar. 2014

Henkel, P.; Günther, C.: Attitude Determination with Low-cost GPS/INS. In: *26th ION GNSS*, Nashville, TN, USA, Sep. 2013

Henkel, P.; Iafrancesco, M.: Tightly Coupled Position and Attitude Determination with Two Low-cost GNSS Receivers (invited paper), In: *11th Int. Symp. on Wireless Comm. Syst.*, Barcelona, Spain, Aug. 2014

Henkel, P.; Kiam, J.J.: Maximum A Posteriori Probability Estimation of Integer Ambiguities and Baseline. In: *IEEE Int. Symp. ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2013

Henkel, P.; Oku, N.: Cycle Slip Detection and Correction for Heading Determination with Low-cost GPS/INS Receivers. In: *IAG Symp. VIII Hotine Marussi*, Rome, Italy, Jun. 2013

Kiam, J.J.; Cardenas, J.M.; Henkel, P.: Cooperative RTK Positioning for Rowing Boats with Low-cost GPS Receiver. In: *ION ITM*, San Diego, CA, USA, Jan. 2014

Knogl, J.S.; Henkel, P.; Günther, C.: Precise Positioning and Orbit Estimation for Geostationary Data Relays. In: *6th ESA Workshop on Sat. Nav. Techn.*, Noordwijk, The Netherlands, Dec. 2012

Knogl, J.S.; Henkel, P.; Günther, C.: Attitude Estimation based on Multi-beam Antenna Signal Power Levels. In: *IEEE Int. Symp. ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2013

Sand, S.; Zhang, S.; Muhlegg, M.; Falconi, G.; Zhu, C.; Kruger, T.;

Nowak, S.: Swarm Exploration and Navigation on Mars. In: *Int. Conf. Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, Torino, Italy, Jun. 2013

Wen, Z.; Henkel, P.; Günther, C.: Precise Point Positioning with Code Multipath Estimation. In: *IEEE Int. Symp. ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2013

Zhu, C.; Bamann, C.; Henkel, P.; Günther, C.: Common Field-of-view of Cameras in Robotic Swarms. In: *IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Tokyo, Japan, Nov. 2013

Zhu, C.; Zhang, S.; Dammann, A.; Sand, S.; Henkel, P.; Günther, C.: Return-to-base Navigation of Robotic Swarms in Mars Exploration using DoA Estimation. In: *IEEE Int. Symp. ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2013

### Vorträge

Brack, A.: Reliable Partial GNSS Ambiguity Resolution. Colloquium Satellite Navigation, TU München. Jun 2014

Brack, A.: Generalized Integer Aperture Estimation with Partial GNSS Ambiguity Resolution. GNSS Research Centre, Perth, Australia, Mar. 2014

Giorgi, G.: Attitude Representation: An Overview. Colloquium Satellite Navigation, TU München, May 2014

Henkel, P.: Precise Point Positioning and Attitude Determination with Galileo. Zwischenvortrag Habilitation, TU München, May 2013

Henkel, P.: Joint Subset Optimization and Integer Least-squares Estimation for PPP and RTK. GNSS Research Centre, Perth, Australia, Oct. 2013

Henkel, P.: Precise Point Positioning and Attitude Determination with Tight Coupling. Doctoral Seminar, TU München, Aug. 2014

Henkel, P.: Single and Multi-frequency Differential GNSS. Carl Cranz Gesellschaft, Oct. 2014

# 12 Sonstiges

## 12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

### Gerhard Kramer:

- Co-Direktor des Studiengangs MSCE der Fakultät EI (seit 2010)
- Mitglied im *TUM Institute for Advanced Study Advisory Council* (seit 2011)
- Mitglied der Strukturkommission der Fakultät EI (seit 2011)
- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2011)
- Mitglied im *TUM Appointment and Tenure Board* (seit 2012)
- Mitglied im *TUM Awards Committee* (seit 2014)
- Mitglied der Task Force „EI nach Garching“ (seit 2014)
- Vorsitzender der Gleichstellungskommission der Fakultät EI (seit 2014)

### Norbert Hanik:

- Mitglied im Master-Prüfungsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Promotionsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- BAföG-Beauftragter der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Bachelor-Prüfungsausschuss der *School of Education* (seit 2005)
- Mitglied im Master-Prüfungsausschuss der *School of Education* (seit 2011)
- Vorsitzender des Koordinationsausschusses „Lehramt an Beruflichen Schulen“ der Fakultät EI (seit 2009)
- Vorsitzender des Berufungsausschusses der W2-Professur „Audiosignalverarbeitung“ der Fakultät EI (2009 – 2011)
- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2005)

### Joachim Hagenauer:

- Vorstand des Internationalen Begegnungszentrums (IBZ) der Münchener Universitäten (seit 2005)
- Mitglied im *International Board of Trustees* am *Institute for Advanced Study* (IAS) der TUM (seit 2006)
- Mitglied im *Thinktank des Emeriti of Excellence Program* der TUM (seit 2009)
- Mitglied im Berufungsausschuss „Kardiologie“ der TUM RDI (2010/2011)
- Mitglied der Schiedsstelle der *TUM Graduate School* (seit 2011)
- Mitglied im wissenschaftlichen Beirat von *Munich Aerospace* (seit 2011)

### 12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

### 12.2 Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen

### 12.3 Unsere Erfahrungen mit LNTwww – einem webbasierten Lerntutorial für die Nachrichtentechnik

### 12.4 Neuerungen in der Infrastruktur

### 12.5 Nomor Research – Back to the Roots

### 12.6 Feste – Feiern

**Hannes Bartz:**

- Koordinator und Manager des Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE) der Fakultät EI (seit 2010)

## **12.2 Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen**

**Gerhard Kramer:**

- Mitglied im *Board of Governors* der *IEEE Information Theory Society* (seit 2009)
- Fellow des *IEEE* (seit 2010)
- Mitglied im *IEEE Alexander Graham Bell Medal Committee* (2011–2014)
- Berater und Co-Chair der *IEEE European and North American Schools of Information Theory* (seit 2011)
- Mitglied im ITG-Fachausschuss 5.1: *Informations- und Systemtheorie* (seit 2011)
- Editor von *Foundations and Trends in Communications and Information Theory* (seit 2012)
- Präsident der *IEEE Information Theory Society* (2013)
- Mitglied in *IEEE Information Theory Society* Komitees: Publications (2011–13), Conference (2012–13), Online (2012–13), Shannon Award (2012–13), External Nominations (2013), Wyner Award (2013–14), Student (2014), Constitution & Bylaws (2014–15), Nominations & Appointments (2014–15)
- Mitglied in den Programmkomitees der IEEE Konferenzen *Globecom WCS* (2013), *ICC-CT* (2013), *ISWCS* (2013), *ITG SCC* (2013, 2014), *BlackSeaCom* (2014), *ICC MASSAP* (2014), *ISITA* (2014), *ITW* (2014), *IZS* (2014), *SNOW* (2014), *WCNC* (2014)
- Mitglied der *IEEE Technical Activities Board* (2013)
- Mitglied des Kuratoriums der Eduard-Rhein-Stiftung (seit 2013)
- Technical Program Co-Chair des *Int. Symp. Turbo Codes & Iterative Information Processing*, Bremen (2014)
- Technical Program Co-Chair des *IEEE Int. Symp. Information Theory* (ISIT), Honolulu, HI (2014)
- Berater der *IEEE Australian, East-Asian, and Indian Schools of Information Theory* (seit 2014)
- General Co-Chair des *IEEE Int. Symp. Information Theory* (ISIT 2017), Aachen (seit 2014)
- Mitglied im *IEEE Richard W. Hamming Medal Committee* (seit 2014)

**Norbert Hanik:**

- Mitglied der ITG-Fachgruppe 5.3.1 „Simulation und Modellierung optischer Komponenten und Systeme“ (seit 1999)

**Joachim Hagenauer:**

- Fellow des *IEEE* (seit 1993)
- Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften: *acatech* (seit 2002)
- Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAdW, seit 2003)
- Vorsitzender des BAdW-Forums „Technologie“ (seit 2005)
- Mitglied im VDE Slaby Kreis (seit 2007)
- Mitglied des VDE Auschusses „Ehrenring“ (seit 2010)
- Mitglied im Berufungsausschuss Kommunikationstheorie der TU Berlin (2012)

## 12.3 Unsere Erfahrungen mit LNTwww – einem webbasierten Lerntutorial für die Nachrichtentechnik

Günter Söder



Unser E-Learning-Projekt LNTwww, ein *Lerntutorial für die Nachrichtentechnik im world wide web*, hat nun folgenden Zwischenstand erreicht:

- Fertiggestellt sind (bis auf einige kosmetische Korrekturen) sechs von neun Büchern.
- Der Fertigstellungsgrad liegt derzeit bei 95%. Als Maximalwert geben wir 98% an, da Lernsoftware eigentlich nie fertig ist.
- Es fehlen nur noch zwei von 40 Kapiteln, je eines zu den beiden LNTwww-Büchern 4 und 8.

Seit Herbst 2012 sind drei Kapitel neu entstanden. Der langsamere Fortgang gegenüber früher hängt auch damit zusammen, dass mein Kollege Dr. Klaus Eichin seit 2011 nicht mehr aktiv mitarbeitet. Er ist aber weiterhin mitverantwortlich für LNTwww.

Wie sinnvoll ist aber E-Learning? Vor kurzem fand ich in einer renommierten Tageszeitung den Artikel *E-Learning ist out*. Manche Fachkollegen sind dagegen so euphorisch wie wir 2001. Meine Meinung dazu nach 14 Jahren LNTwww und 30 Jahren „computerunterstützter Unterricht“ liegt etwa in der Mitte:

- Ich glaube nicht, dass E-Learning eine Präsenzvorlesungen vollständig ersetzen kann, aber es ist eine sinnvolle Ergänzung.
- Man spart sich auch keine Vorbereitungszeit, wenn man eine Vorlesung online anbietet. Ganz im Gegenteil, es dauert länger.
- Ein Merkmal von LNTwww und für das Verstehen äußerst wichtig sind die Übungsaufgaben mit ausführlichen Musterlösungen.

Ein weiteres Kennzeichen unseres Online-Lernangebots ist der mit 36 SWS sehr große Umfang. Neben fast 1400 Theorie Seiten (mit 1900 Grafiken, 8000 Gleichungen und vielen Beispielen) und den schon genannten

LNTwww-Buch	Umfang	Fertigstellung
1. Signaldarstellung	3V + 2Ü	5 von 5 Kapiteln, 98%
2. Lineare zeitinvariante Systeme	2V + 1Ü	4 von 4 Kapiteln, 98%
3. Stochastische Signaltheorie	3V + 2Ü	5 von 5 Kapiteln, 98%
4. Einführung in die Informationstheorie	2V + 1Ü	3 von 4 Kapiteln, 75%
5. Modulationsverfahren	3V + 2Ü	5 von 5 Kapiteln, 98%
6. Digitalsignalübertragung	3V + 2Ü	5 von 5 Kapiteln, 98%
7. Mobile Kommunikation	2V + 1Ü	4 von 4 Kapiteln, 90%
8. Einführung in die Kanalcodierung	2V + 1Ü	3 von 4 Kapiteln, 80%
9. Beispiele von Nachrichtensystemen	2V + 2Ü	4 von 4 Kapiteln, 98%
Unser gesamtes E-Learning-Angebot	23V + 13Ü	95%

Zwischenstand unseres Lerntutorials (siehe [www.LNTwww.de](http://www.LNTwww.de)) zum 30.09.2014

## 12.4 Neuerungen in der Infrastruktur

Georg Böcherer und Joschi Brauchle

Die wichtigsten Infrastrukturmaßnahmen unserer Lehr- und Forschungseinheit LNT/LÜT/NAV seit Oktober 2012 stehen im Zusammenhang mit der Anbindung unseres Rechnerpools an das Hochschulnetz und der Vereinfachung der Infrastruktur. Insbesondere sind folgende Aktivitäten unserer Systemadministratoren zu nennen:

- Inbetriebnahme eines schnellen Mehrkern-Simulationsrechners mit Grafikkartenunterstützung,
- Beschaffung und Inbetriebnahme von Laptops für die wissenschaftlichen Mitarbeiter,
- Aktualisierung der Rechner sowie der zugehörigen Betriebssysteme in den Praktikumsräumen,

- Aufbau eines zentralen Überwachungssystems für Rechner, Dienste und Netzkomponenten,
- Einrichtung einer offenen Verteilerliste zur Vortragsankündigung am LNT: [Int-talks@lists.lrz.de](mailto:Int-talks@lists.lrz.de).

Für die Zukunft planen wir, die Anzahl der selbst betriebenen Server weiter zu reduzieren und damit einhergehend den Wartungsaufwand deutlich zu minimieren. Soweit wie möglich soll auf entsprechende äquivalente Angebote unserer Fakultät EI und des Leibniz-Rechenzentrums (LRZ) zurückgegriffen werden.

In Vorbereitung dieser Arbeiten wurden über mehrere Monate hinweg die externen Dienste evaluiert

und auftretende Probleme als auch offene Fragen mit den Ansprechpartnern in der Fakultät und des LRZ geklärt. Derzeit befinden sich die neuen Systeme in einer letzten Testphase vor dem Produktivbetrieb. Bei erfolgreichem Abschluss dieser Tests ist mit einer Umstellung der gesamten LNT-Infrastruktur bis Ende 2014 zu rechnen.

Im Namen aller Benutzer unserer Institutsrechner danken wir den Systemadministratoren Manfred Danzer, Martin Kontny, Joschi Brauchle, Markus Stinner, Tobias Fehenberger und Andreas Brack (NAV) herzlich für den großen Einsatz und die hervorragende Arbeit.

10 years after spinning-off Nomor Research from the LNT we are looking back on a successful history rich in diverse experience. Having set up a product business in parallel over the last years which in the meantime has successfully been sold, we now refocus on our most profitable consulting roots in exciting research activities.

Hinter der *Nomor Research GmbH* liegt eine extrem veränderungsreiche Zeit. Nach den ersten sehr erfolgreichen Jahren (nach unserer Gründung 2004) im Consulting- und Service Business hatten wir um das Jahr 2008 angefangen, ein paralleles Produktbusiness für Basisstations-Protokoll-Software aufzubauen. Auch hier konnten wir schnell bemerkenswerte Erfolge verbuchen, und zum Beispiel einen globalen Marktführer im Halbleiterbereich als wichtigen Leitkunden gewinnen. So konnten bzw. mussten wir uns rasch vergrößern; zwischenzeitlich stieg die Anzahl der bei uns beschäftigten Ingenieure auf 35; das Maximum war Anfang 2012 erreicht.

Die Größe und das neue Geschäftsmodell stellten uns natürlich vor neue Herausforderungen. Als nach wie vor vergleichsweise kleine und komplett selbstfinanzierte Firma wurde es immer schwieriger, die hohen Produktanforderungen unserer Kunden zu erfüllen. Die Konkurrenz in Niedriglohnländern lockt natürlich mit sehr viel größerer Manpower. Es gab doch sehr gravierende Unterschiede gegenüber unseren Consultingaktivitäten im gewohnten Forschungsumfeld. Letztere liefen parallel und mit ungebremstem Erfolg weiter, dadurch mussten keine ungesunden Entscheidungen aus der Not herausgetroffen werden.

## 12.5 Nomor Research – Back to the Roots

### Ingo Viering

Als logische Konsequenz konnten wir das aufgebaute Produktbusiness 2013 an eine große indische Technologiefirma verkaufen, welche die durchaus wertvollen Assets deutlich gewinnbringender verwerten kann, als es *Nomor Research* selbst hätte tun können. Die indische Firma hat in München einen neuen Forschungsstandort gegründet; so konnten wir auch zum Wachstum in der Region Bayern beitragen. Wir sind sehr stolz, diese Herausforderungen gemeistert zu haben, ohne jemals einen Mitarbeiter entlassen zu müssen, und ohne jemals finanzielle Unterstützung von außen zu benötigen. So können wir auch in Zukunft die Geschicke von *Nomor Research* vollkommen autonom lenken.

Deutlich reicher an Erfahrung freuen wir uns nun wieder, uns auf unsere Kernkompetenz zu konzentrieren, nämlich zu 100% in der Forschung tätig zu sein, und uns als unabhängiges Unternehmen spannenden zukünftigen Themen zu widmen. Mit einem effizienten Team von nunmehr ca. zehn Ingenieuren liefern wir weiterhin technische Unterstützung bei der Entwicklung und Standardisierung im Mobilfunk- und Multimediacbereich.

Thematisch wenden wir uns seit einem guten Jahr natürlich mehr und mehr dem Thema 5G zu. Sowohl zu den klassischen cm-Wellen als auch zu den anspruchsvollerem mm-Wellen haben wir bereits unsere gewohnt spektakulären Demonstrationen auf den weltweit wichtigen Events gezeigt, z.B. beim *Mobile World Congress*. Die klassischeren LTE-Themen greifen mittlerweile – nachdem die Verfügbarkeit von LTE nun weitestgehend allgegenwärtig ist – auf Branchen außerhalb des Mobilfunks über. So sind wir zwischenzeitlich beispielsweise für Firmen im Automobilbereich oder für *Public Safety* ein attraktiver Partner, um deren branchenspezifische Kompetenz durch LTE-Knowhow zu erweitern. Im Multimediacbereich hält uns nach wie vor das Thema *DASH* beschäftigt.

Als weiteres Standbein liefern wir Unterstützung bei der Evaluierung von Patenten. Komplettiert wird unser Portfolio durch Schulungen im Bereich LTE mit Schwerpunkten wie SON oder *Public Safety*. Hierdurch können wir auch wertvolle Verbindungen knüpfen und neue Kunden gewinnen. Last but not least versuchen wir auch in sinnvollem Maße an öffentlich geförderten Projekten teilzunehmen. So sind wir derzeit in einem BMBF-Projekt engagiert und optimistisch, nächstes Jahr im H2020-Programm der EU vertreten zu sein.

Ein Wermutstropfen besteht allerdings in der Tatsache, dass sich unser Mitbegründer und Geschäftsführer Dr.-Ing. Thomas Stockhamer, langjähriger wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT, aus persönlichen Gründen entschieden hat, sich Mitte 2014 aus *Nomor Research* zurückzuziehen. Auch wenn wir das alle zu tiefst bedauern, respektieren wir seinen Wunsch, bedanken uns für seinen Einsatz in den letzten zehn Jahren und wünschen ihm weiterhin alles Gute!

Die Bande zum LNT bleibt dadurch unbeeinträchtigt – ich werde die LTE-Vorlesung *System Aspects in Communications* weiterführen. Das MSCE-Programm ist für uns nach wie vor eine wertvolle Quelle an hochbegabten Studenten, die bei uns zunächst als Werkstudent oder Praktikant arbeiten, und später vielleicht ihre Master Thesis und Ph.D. in Zusammenarbeit mit uns anfertigen. Über die Hälfte der von Nomor rekrutierten Mitarbeiter hatte eine MSCE-Wurzel!

Im September 2014 war es exakt zehn Jahre her, dass wir mit Prof. Joachim Hagenauer aus dem LNT heraus die *Nomor Research GmbH* gegründet haben, eine sehr ereignisreiche Zeit. Retrospektiv gab es eigentlich keine Tiefen, nur die Höhen waren natürlich unterschiedlich groß. Wir sind also nach wie vor ein schlechtes Beispiel dafür, KEINEN Startup zu gründen! Auf geht's!

## 12.6 Feste –Feiern



Betriebsausflug 2013 auf den Wendelstein. Vorne von links: Y. Chen, M. Danzer, E. Georg, M. Stinner, M. El Hefnawy, N. Rossmann und T. Lutz



Dr. Mohit Thakur (14.03.14), Dr. Oscar Gaete (10.04.14) & Dr. Beril Inan (19.05.14)



Bei der LNT/LÜT/NAV-Weihnachtsfeier 2013, u. a: mit M. Leinonen, L. Barletta, Y. Chen, J. Hou, N. Hanik, E. Herian und K. Eichin

### 10.10.2012: Exkursion zur Erdfunkstelle Raisting

- Führung durch Radon Raisting Q. Funke, M. Hani, J.S. Knogl
  - Rückkehr nach München via Dießen und Herrsching
- Organisation:* B. Inan, O. Işcan, J. S. Knogl, Z. Wen

### 24.10.2012 – NT-Bibliothek: Empfang für Norbert Hanik & Frank Kschischang zum 50ten

- Sekt, Reden, Blumen
- Organisation:* D. Dorn & E. Herian

### 09.11.2012 – NT-Praktikum: Feier Norbert Hanik zum 50ten

- Die Lage mit 50
- Organisation:* N. Hanik & M. Jürgens

### 19.12.2012 – NT-Praktikum: LNT-Weihnachtsfeier 2012

- New Faces at LNT and NAV, Events, Visitors & Guests, Talks
  - Christmas Party Quiz
  - Fassbier von Nomor
- Organisation:* H. Bartz, E. Georg, R. Böhnke, P. Henkel (Pseudonym: Ha, NÄCHStes Mal zu Weihnachten gibt es wieder ELLItäre, zitRONHALTige Plätzchen... und ein PAAR TRICKy Ratschläge)

### 09.10.2013: Betriebsausflug/Exkursion zum Wendelstein (siehe oberes Foto)

- Mit Bus & Gondel in den Nebel
  - Mittagessen: Wendelsteinhaus
  - Besichtigung der Sendeanlage des Bayerischen Rundfunks
- Organisation:* H. Bartz, E. Georg

### 16.12.2013 – NT-Bibliothek: Empfang für Doris Dorn (50)

- Sekt, Reden, Blumen
- Organisation:* E. Herian & G. Kramer

# 12 Sonstiges

18.12.2013 – NT-Praktikum:

## LNT-Weihnachtsfeier 2013

(siehe unteres Fotos auf S. 137)

- Jahresrückblick
- Quiz mit Wichteln
- Fassbier von Nomor

*Organisation:* S. Dierks, M. Stinner,  
G. Giorgi (Pseudonym: Die fan-  
tastische Orgelistia)



02.10.2014 – Oktoberfest:

## LNT-Wiesn-Nachmittag

(siehe oberes Foto)

*Organisation:* J. Brauchle

06.10.2014 – NT-Praktikum:

## Einstandsfeier der Neuen 2014

- Pasta, Pizza & Drinks

*Organisation:* L. Barletta, O. Günlü,  
A. Nedelcu, L. Palzer, S. Saeedi



Dr. Jie Hou (14.08.14), Dr. Tobias Lutz (29.08.14) & Dr. Stephan Hellerbrand (13.11.14)

13.10.2014 – NT-Praktikum:

## Zwiebelkuchen nach der WM

- Umsetzung der Gewinne des LNT-WM-Tippspiels
- Sieger: Stephan Hellerbrand
- EM-Qualifikation D – IRL

*Organisation:* Die „Loser“ Hanik,  
Janßen (LTI) & Stinner

17.10.2014 – NT-Bibliothek:

## Einladung J. Hagenauer wg.

## Wissenschaftspris der ITG

(siehe auch S. 7 in diesem Heft)

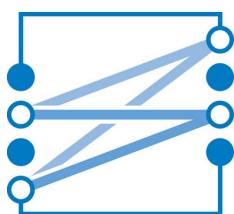
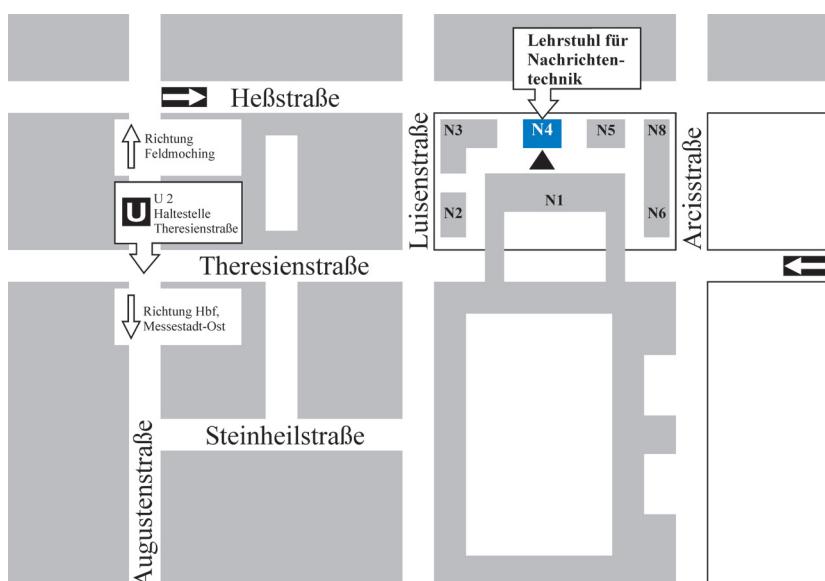
- Bayrische Brotzeit

*Organisation:* J. Hagenauer &  
D. Dorn



Betriebsausflug 2014 bei der TU-Betriebsfeuerwehr: J. Brauchle, G. Böcherer,  
T. Fehenerger, M. Jäger, Feuerwehrchef, L. Palzer, P. Schulte und F. Steiner





Lehrstuhl für Nachrichtentechnik  
Institut für Informations- und Kommunikationstechnik  
Technische Universität München  
Arcisstr. 21, D-80290 München  
Tel.: (+49) 89 28 92 34 66  
Fax: (+49) 89 28 92 34 90  
URL: <http://www.LNT.ei.tum.de>