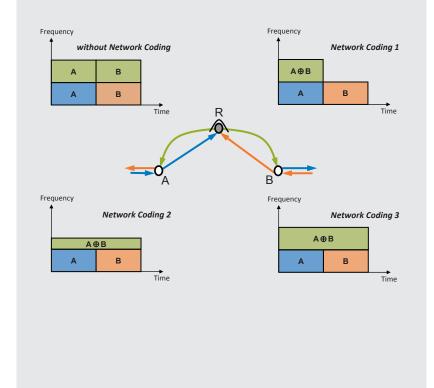
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Tätigkeitsbericht

1.10.2010-30.9.2012





Die Grafik auf der Frontseite, gestaltet von Onurcan İşcan und Dr. Christoph Hausl, soll das Prinzip von Netzcodierung (englisch: *Network Coding*) veranschaulichen. Zwei Teilnehmer A und B kommunizieren ausschließlich über eine Relaisstation R; beim NEXT-Projekt (Kapitel 7.3) ist dieses Relais beispielsweise ein Satellit. Ohne *Network Coding* würde man im ersten Zeitschlitz ein Paket A zum Relais senden und dieses wird in einem anderen Frequenzkanal vom Satelliten als *Broadcast* zu den Kommunikationspartnern A und B weitergeleitet. Im zweiten Zeitschlitz sendet B und A empfängt dieses Paket über die Relaisstation. Diese Konstellation liegt der linken oberen Grafik zugrunde.

Die Rücksendung vom Relais liefert jeweils nur für einen Teilnehmer neue Informationen, im ersten Zeitschlitz für Teilnehmer B und im zweiten für A. Durch die Verarbeitung von A und B mit einer Codierungsoperation kann dies verbessert werden. Sendet man zum Beispiel als Broadcast die Modulo-2-Summe $C = A \oplus B$ (siehe rechte obere Grafik $\rightarrow Network \ Coding \ 1$), so kann jeder Teilnehmer wegen $C \oplus A = B$ und $C \oplus B = A$ die gesuchte Information des jeweiligen Partners extrahieren. Der Zeitschlitz 2 bleibt frei, so dass die Sendeleistung des Relais auf die Hälfte reduziert wird.

Bei der linken unteren Grafik \rightarrow Network Coding 2 wird im Downlink nur die halbe Bandbreite über die gesamte Zeit belegt, wodurch das SNR ebenfalls verdoppelt wird. Das beste Ergebnis liefert die rechts unten dargestellte Konstellation \rightarrow Network Coding 3. Hier wird wieder die gesamte Zeit und auch die gesamte Bandbreite genutzt. Durch die Anwendung von Network Coding kann aber nun ein Kanalcode mit besseren Korrektureigenschaften verwendet werden, wodurch die Sendeleistung gegenüber dem Vergleichssystem bei gleichem SNR um mehr als die Hälfte reduziert wird.

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

E-mail: 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 E-mail: 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, 81477 München

Auflage: 600 Stück



1	Vorwort	1
2	Personelles	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 Jubiläen	7
2.9	Alumni-Nachrichten und Persönliches	9
3	Lehrveranstaltungen	11
3.1	Einige allgemeine Bemerkungen zur Lehre	11
3.2	LNT-Veranstaltungen für EI und MSCE	12
3.3	LÜT-Veranstaltungen für EI und MSCE	15
3.4	Studiengang Lehramt an beruflichen Schulen (LB)	16
3.5	Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM	17
3.6	Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme	20
3.7	Seminar on Topics in Communications Engineering s	22
4	Diplomarbeiten, Master's Theses, Bachelor Theses	25
4.1	Einige allgemeine Bemerkungen	25
4.2	Diplomarbeiten der Studiengänge EI und LB	26
4.3	Master's Theses des Studiengangs EI	26
4.4	Master's Theses des Studiengangs MSCE	27
4.5	Bachelor Theses (BT) und Studienarbeiten (SA)	28
4.6	Ingenieurspraxis (IP) und Forschungspraxis (FP)	30
5	Promotionen / Habilitationen	31
5.1	Abgeschlossene Promotionsverfahren	31
5.2	Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung	38



5.3	Laufende und abgeschlossene Habilitationsverfahren	39
5.4	Vorträge im Doktorandenseminar	39
6	Arbeitsgebiete	41
7	Extern geförderte Prokjekte	61
7.1	Vorbemerkungen	61
7.2	NSF-Projekt der USC	62
7.3	LNT-Projekt NEXT	62
7.4	LNT-Projekt DLR@Uni – Munich Aerospace	63
7.5	LNT-Projekt mit NSN	63
7.6	LNT-Projekt mit Alcatel-Lucent	64
7.7	LÜT-Projekt ATOB	64
7.8	LÜT-Projekt mit BMW	65
7.9	LÜT-Projekt mit NSN	65
8	Veröffentlichungen, Patente, Vorträge	67
8.1	Einige allgemeine Bemerkungen	67
8.2	Bücher und Buchbeiträge	67
8.3	Zeitschriftenbeiträge	68
8.4	Beiträge in Tagungsbänden	70
8.5	Patente	74
8.6	Vorträge und Präsentationen	74
9	Veranstaltungen	79
9.1	Verleihung der Alexander von Humboldt-Professuren	79
9.2	Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2010	83
9.3	TUM Communications Symposium	87
9.4	Verabschiedung von Klaus Eichin und Günter Söder	88
9.5	Festkolloquium und Feier zum 70. Geburtstag von Professor Joachim Hagenauer	90
9.6	Feierliche Enthüllung des Ralf-Kötter-Epitaphs	94
9.7	Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises	96
9.8	1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information	98
10		
10	Internationale Beziehungen	
10.1	Ein kurzer Überblick	
10.2	Gastwissenschaftler am LNT	
10.3		
11	Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation	111
12	Sonstiges	123
12.1	Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung	123
12.2	Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen	4.0
	Vereinigungen	
12.3	Neuerungen in der Infrastruktur	
12.4	Zwischenbericht No. 6: LNTwww	
12.5	Feste – Feiern	127



Liebe Freunde, Partner und Mitarbeiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik,

es ist seit jeher eine Erfahrung älterer Menschen, dass die Zeit mit zunehmendem Lebensalter immer schneller vergeht. Dies ist inzwischen auch mir bewusst geworden. Manchmal glaube ich, dass ich gerade erst in München angekommen bin. Andererseits, wenn ich an die vielen Aktivitäten, die vielfältigen Erlebnisse und die damit verbundenen Eindrücke denke, wundere ich mich, dass seit meiner Ankunft in München erst zwei Jahre vergangen sein sollen.

An der TU München hatte ich einen fantastischen Start. Kurz bevor ich nach Deutschland kam, wurde ich für eine Alexander von Humboldt-Professur ausgewählt. Durch dieses Programm habe ich viele Vorteile, für die ich sehr dankbar bin. Zum einen muss ich mich für einige Jahre nicht um die Finanzierung kümmern, so dass mir für die Forschung mehr Zeit bleibt. Daneben konnte ich viele wichtige Personen aus dem universitäten Umfeld kennenlernen, sowohl im administrativen als auch im wissenschaftlichen Bereich.

Die zwei wichtigsten Events im Mai 2011 waren die Feierlichkeiten zur Überreichung der Humboldt-Professur in Berlin und des Vodafone-Innovations-Preises in Neuss (siehe Kapitel 9.1 und 9.2 dieses Heftes). Im Juli 2011 feierte unser Lehrstuhl mit vielen früheren Doktoranden und internationalen Gästen über zwei Tage den 70. Geburtstag von Prof. Joachim Hagenauer (siehe Kapitel 9.5).

Eine weitere Veranstaltung war der First Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information im Mai 2012 (siehe Kapitel 9.8). Hier wurden auch die Leistungen von Prof. Hans Marko gewürdigt, der sich schon in den frühen 1960er Jahren mit Directed Information beschäftigt hat. Damit war er seiner Zeit weit voraus.

Nun zu den Personalien am LNT: Prof. Günter Söder und Dr. Klaus Eichin sind 2011 in den Ruhestand eingetreten. Wir wünschen beiden alles Gute für die neue Lebensphase. Günter bleibt dem LNT noch als Lehrbeauftragter erhalten und er hat auch den vorliegenden Tätigkeitsbericht zusammengestellt.

Eine wichtige Änderung ergab sich auch für das MSCE-Programm (Master of Science in Communications Engineering). Als Nachfolger von Dr. Pavol Hanus, der an das Europäische Patentamt in Den Haag gewechselt ist, fungiert nun Hannes Bartz als Programm-Manager (eine Kurzbiografie finden Sie auf Seite 4). Dr. Georg Zeitler, mein erster Doktorand an der TU München (siehe Seite 37), entschied sich letztendlich für eine Stelle bei der BMW AG in München. Ich wünsche Pavol und Georg alles Gute für ihre neuen Aufgaben und bin mir sicher, dass sie erfolgreiche Karrieren vor sich haben.

In den letzten zwei Jahren hatten wir viele Gäste; im Kapitel 10.3 sind mehr als 60 Vorträge aufgelistet. Einige Wissenschaftler besuchten uns auch für längere Zeit (Kapitel 10.2): Prof. Anthony Ephremides und Dr. Gottfried Ungerböck gaben 2011 bzw. 2012 jeweils einen MSCE-Kurs. Prof. Frank Kschischang besuchte uns 2011 für drei Monate, finanziert durch das *TUM Institute for Advanced Study*. Prof. Raymond Yeung war im Sommer 2011 mit Förderung der *Alexander von Humboldt Foundation* für einen Monat am LNT.

Abschließend noch ein paar Worte zur Forschung. In den letzten zwei Jahren haben wir vielbeachtete Beiträge zu verschiedenen Gebieten geliefert (Kapitel 6). Einige Erfolge erzielten wir gemeinsam mit Industriepartnern in München, Stuttgart, Berlin und New Jersey (Kapitel 7). Ich möchte hinzufügen, dass mich solche technischen Kooperationen ganz besonders freuen. Sie erinnern mich an meine frühere Tätigkeit in einem industriellen Forschungslabor. Die Themen ergänzen zudem unsere anderen, meist akademisch geprägten Forschungsinteressen.

Ich danke allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern herzlich für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit. Euer unermüdlicher Einsatz hat den LNT zu dem dynamischen und freundlichen Lehrstuhl gemacht, der er heute ist. Mögen die beiden nächsten Jahre noch produktiver und erfolgreicher sein.

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



Dear Associates and Friends of the LNT,

A unanimous reaction from persons more senior than I, be they colleagues, family, or friends, is that the passage of time accelerates as life progresses. The past two years have certainly passed quickly and with much activity. Sometimes I feel as if I have barely started in Munich. Yet the many experiences and impressions are so varied, rich, and colorful, that other times I wonder that only two years have passed.

I was given a fantastic start at TUM. First and foremost, even before I moved to Germany I was lucky to have been selected to receive an Alexander von Humboldt Professorship. There are many benefits I have through this program for which I am very grateful. For example, there is the luxury of not having to be concerned about funding for a few years and therefore to have more time for research. I was also given the opportunity to get to know many of the university's leaders, both in administrative and scientific circles.

Two major events in May 2011 were the Humboldt Professorship ceremony in Berlin and the Vodafone Innovations Prize ceremony in Neuss. And of course in July 2011 the LNT celebrated the 70th birthday of Professor Joachim Hagenauer over two days together with LNT

graduates and prominent international guests. A third major event in May 2012 was the *First Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information*. The latter event celebrated the accomplishments of Professor Hans Marko who was far ahead of his time when he invented, and advocated the use of, directed information already in the early 1960s.

In the foreword of the 2010 report I wrote about several important personnel changes on the horizon. Günter Söder and Klaus Eichin entered retirement in 2011 and we wish them well in this new phase of their lives. Günter remains a regular at the LNT, he fortunately agreed to do contract work for us, for example creating this biannual report.

An important responsibility of the LNT continues to be the Master of Science in Communications Engineering (MSCE) program. I wrote in 2010 that our program manager Pavol Hanus would leave us soon; he found employment at the European Patent Office in The Hague. Our new program manager is Hannes Bartz and you can read more about him in Chapter 9.7. In 2012 Georg Zeitler became the first doctoral student who graduated with me. Georg thought about starting his own company but he decided to join BMW in Munich. We wish Pavol and Georg well in their new jobs; I have no doubt that they will have successful careers. The next two years promise more changes, all part of the regular university rhythm. Naturally, I hope that the training and experience the LNT offers can give our young people a running start after graduation.

We had many visitors during the past two years. You can find a list of them in Chapter 10.3. I counted over 60 presentations and was particular-

ly happy that so many international young researchers wished to drop by. Their visits give our doctoral students invaluable contacts and a taste of the research done at the world's top schools. We had several long-term visitors also: Anthony Ephremides and Gottfried Ungerböck taught MSCE courses in 2011 and 2012, Frank Kschischang visited for several months in 2011 funded by a TUM Institute for Advanced Study Hans Fischer Senior Fellowship, and Raymond Yeung visited for a month in 2011 funded by a Friedrich Wilhelm Bessel Research Award from the Alexander von Humboldt Foundation.

Last, and certainly not least, there is the research. I am happy to write that in the last two years we have made world-leading contributions on several fronts; you can read more about them in the doctoral students' reports. Their success is also due to the support of our industry partners in Munich, Stuttgart, Berlin, and New Jersey, for which I am grateful. I will add that I very much enjoy these technical collaborations. They remind me of my former life at an industrial research lab and the topics provide a good balance to our more academic research interests.

As a final note, as in 2010 I would like to thank all the members of the LNT for their support, hard work, for making the LNT the vibrant and friendly place it is, and for their and your dedication to this institution. May the next two years be even more productive and successful.

München, November 2012

I Kanor

Gerhard Kramer

2 Personelles

2.1 Wissenschaftliches Personal am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT)

Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer. Ordinarius

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

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

Dipl.-Ing. Hannes Bartz, wiss. Angestellter (ab 01.01.2011)

Dr.-Ing. **Georg Böcherer**, Akademischer Rat. a. Z. (ab 01.04.2012)

Dipl.-Ing. **Ronald Böhnke**, wiss. Angestellter (ab 01.02.2012)

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

Dipl.-Ing. **Stefan Dierks**, wiss. Angestellter (ab 01.04.2011)

Dr.-Ing. Christoph Hausl, Akademischer Rat

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

Dipl.-Ing. Jie Hou, wiss. Angestellter

M.Sc. Onurcan İşcan, wiss. Angestellter

Dipl.-Ing. Tobias Lutz, Akademischer Rat. a. Z.

Dr. **Stefano Rini**, wiss. Angestellter (ab 01.09.2011)

Dipl.-Ing. Markus Stinner (ab 01.09.2011)

M.Sc. Mohit Thakur, wiss. Angestellter

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr.-Ing. **Pavol Hanus** (zum 31.12.2010)

Dr.-Ing. Danail Traskov (zum 31.01.2011)

Apl. Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. **Günter Söder** (zum 31.03.2011)

Dr.-Ing. Klaus Eichin, Akademischer Direktor (zum 30.09.2011)

Dr.-Ing. Georg Zeitler (zum 31.05.2012)

2.2 Wissenschaftliches Personal des Fachgebietes Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT)

Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik, Extraordinarius

M.Sc. **Yingkan Chen**, wiss. Angestellter (ab 01.12.2011)

Dipl.-Ing. Tobias Fehenberger, wiss. Angestellter (ab 01.02.2012)

Dipl.-Inf. Elisabeth Georg, wiss. Angestellte

M.Sc. Beril Inan, wiss. Angestellte

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr.-Ing. Bernhard Göbel (zum 30.11.2010)

Dr.-Ing. Leonardo Didier Coelho (zum 30.09.2011)

M.Sc. Oscar Jamett Gaete (zum 30.09.2011)

Dipl.-Ing. **Ulli Brennenstuhl** (zum 30.04.2012)

- 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 Jubiläen
- 2.9 Alumni-Nachrichten und Persönliches

Die Zusammenstellung bezieht sich auf den Stichtag 30.09.2012. Auf der nächsten Seite folgen die Personalien der im Berichtszeitraum neu hinzu gekommenen Kollegen.

Der akademische Grad Master of Science ist hier einheitlich mit M.Sc. abgekürzt und steht vor dem Namen, um die Listenform zu wahren. Insbesondere bei amerikanischen Universitäten ist oft das Kürzel M.S. dem Namen nachgestellt.

Im Gegensatz zu früheren Tätigkeitsberichten sind unsere Gastwissenschaftler hier nicht aufgeführt. Sie finden diese im Kapitel 10.



Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer** wurde 1970 in Winnipeg, Kanada, ge-



boren Er erhielt 1991 den B.Sc. und 1992 den M.Sc. in Elektrotechnik von der University of Manitoba in Winnipeg und 1998 den Dr. sc. techn.

(Doktor der technischen Wissenschaften) von der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich. Von 1998 bis 2000 arbeitete er bei Endora Tech AG, Basel, als Kommunikations-Ingenieur. Danach war er bis 2008 als Member of Technical Staff beim Math Center, Bell Laboratories, Alcatel-Lucent, Murray Hill, NJ. 2009 wechselte er als Professor an die University of Southern California (USC) in Los Angeles, CA. Seit Oktober 2010 ist er als Alexander von Humboldt-Professor und Ordinarius des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik an der TU München.

Gerhard Kramer ist IEEE Fellow. Er war 2011/2012 Vizepräsident der IEEE Information Theory Society und ist bereits seit 2009 Mitglied des Board of Governors dieser Society. Inzwischen wurde er für 2013 zu deren Präsidenten gewählt. Des Weiteren war er bis 2011 Mitglied des Emerging Technologies Committees der IEEE Communications Society.

Gerhard Kramer hat als Associate Editor, als Guest Editor sowie als Publications Editor für die IEEE Transactions on Information Theory gewirkt, er war Co-Chair des technischen Programmkomitees des 2008 IEEE International Symposiums on Information Theory, und Mitgründer der 1., 2. und 3. School of Information Theory in den Jahren 2008 bis 2010. Gerhard Kramer erhielt 1998 eine ETH-Medaille, 2003 den Bell Labs President's Gold Award, 2005 den

Der neue Chef und die neuen Kollegen am LNT

IEEE Communications Society Stephen O. Rice Prize, und schließlich 2011 den Vodafone-Innovationspreis (siehe Kapitel 9.2).

Im Jahr 2010 wurde er von der Alexander von Humboldt-Stiftung mit einer Humboldt-Professur ausgezeichnet, dem höchstdotierten internationalen Forschungspreis Deutschlands. Über die Preisverleihung am 12. Mai 2011 in Berlin berichten wir im Kapitel 9.1.

Dipl.-Ing. **Hannes Bartz**, geboren 1985 in Trostberg, beendete 2010



das Studium der Informationstechnik an der TU München mit der Diplomarbeit "Implementation of an Error-Correcting Network Code based

on a Reed-Solomon Code" am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik. Für diese Arbeit wurde er im April 2012 mit dem Professor Dr. Ralf Kötter Gedächnispreis ausgezeichnet (siehe Kapitel 9.7).

Seit Januar 2011 ist Hannes Bartz wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT und befasst sich mit algebraischen Codierungsstrategien für verteilte Speichersysteme. Neben der Forschung ist er Program Manager des internationalen MSCE-Studiengangs, und er betreut die Vorlesung Mobile Communications für Bachelor-Studenten im 6. Semester.

Dr.-Ing. **Georg Böcherer**, geboren 1981 in Freiburg, absolvierte sein



Diplomstudium in Elektrotechnik und Informationstechnologie an der ETH Zürich. Für ein Semester studierte er als Austauschstudent an

der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Seine Diplomarbeit schrieb er an der Staatlichen Universität von Pernambuco in Recife, Brasilien.

Von 2007 bis 2012 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theoretische Informationstechnologie an der RWTH Aachen und erhielt den Doktortitel im Februar 2012. Seine Arbeit über die Codierung von Gebäudefassaden wurde als bester Beitrag auf der ISWCS 2011 in Aachen honoriert.

Seit April 2012 arbeitet Dr. Böcherer als Postdoc am LNT auf dem Gebiet Coded Modulation with Probabilistic Shaping. Daneben hat er im Sommer 2012 die MSCE-Vorlesung Advanced Topics in Communications Engineering von Dr. Ungerböck betreut und er unterstützte Prof. Kramer beim Kurs Network Information Theory and Coding der Ferienakademie 2012 im Sarntal.

Dipl.-Ing. **Ronald Böhnke**, 1976 in Bremen geboren, studierte ab 1996



Elektro- und Informationstechnik an der Universität Bremen und war dort ab September 2002 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsbe-

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

Im September 2010 wurde Ronald Böhnke wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, zunächst am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation und seit Februar 2012 am LNT. Er befasst sich mit Signalverarbeitungsalgorithmen und Vielfachzugriffsverfahren.

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". Der Schwerpunkt seiner Forschung in Bremen lag auf Sende- und Empfangsstrategien für MIMO-OFDM sowie auf adaptiver Ressourcenvergabe bei Systemen mit mehreren Teilnehmern.

Dipl.-Ing. **Stefan Dierks**, 1984 in München geboren, studierte ab 2005



Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München Während des Studiums war er im Rahmen eines DAAD-Stipendiums für sechs

Monate an der argentinischen Universität Universidad Nacional del Sur in Bahía Blanca. 2011 schloss er sein Studium mit der Diplomarbeit "Design of Codes for Cooperative Communications Systems" ab.

Seit April 2011 ist Stefan Dierks als wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT. Er bearbeitet ein Forschungsprojekt mit Nokia Siemens Networks und befasst sich mit Übertragungssystemen, die durch Interferenz limitiert sind. Daneben betreut er die Vorlesung *Nachrichtentechnik 2* für Studierende des 5. Semesters im Bachelor-Studiengang und ist verantwortlich für die von ihm neu gestaltete Homepage des LNT.

Dipl.-Ing. **Tobias Fehenberger**, 1986 in Freising geboren, erlangte 2008



den Bachelor-Abschluss in Elektround Informationstechnik von der TU München. Nach einem anderthalbjährigen Auslandsaufent-

halt an der American University of Beirut im Libanon kehrte er 2010 an die TUM zurück und beendete sein Diplom-Studium, ebenfalls in Elektro- und Informationstechnik mit Schwerpunkt Kommunikationstechnik. Seine Diplomarbeit schrieb er unter Betreuung von Prof. Hanik am University College London zum Thema "Kanalkapazität in nichtlinearen optischen Übertragungssystemen".

Seit Februar 2012 ist Tobias Fehenberger wissenschaftlicher Assistent bei Prof. Hanik und untersucht die Anwendung von Codierter Modulation in optischen Weitverkehrssystemen. Ferner hält er die Übung zur Vorlesung Leitungsgebundene Übertragungstechnik und er ist mitverantwortlich für das Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme.

Dr. **Francesco Rossetto**, 1981 in Treviso, Italien, geboren, studierte bis



2005 an der Universität Padua im Bereich Telekommunikation und promovierte dort 2009. Im Jahr 2008 arbeitete er bei der University of Cali-

fornia, San Diego, und beschäftigte sich mit Cross-Layer Protokollen für MIMO-Ad-Hoc Netzwerke. Danach war er von 2009 bis 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kommunikation und Navigation des Deutschen Zentrums für Luft-und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen und befasste sich mit Netzcodierung und Satellitenkommunikation. Seit 2011 ist er als Lehrbeauftragter für die Vorlesung *Channel Coding* (für MSc-EI und MSCE) in den Vorlesungsbetrieb des LNT eingebunden.

Seit dem Frühjahr 2012 arbeitet Dr. Rossetto bei der Fa. Rohde & Schwarz in München an der Entwicklung von Mobilfunktestgeräten. Seine vorrangigen Forschungsinteressen liegen im Bereich Codierung für Netzwerke und Protokolle für Mehrteilnehmer-Systeme.

Dipl-Ing. Markus Stinner, geboren 1986 in Ulm, studierte ab 2005



Elektrotechnik an der Universität Ulm. Er verbrachte während dieser Zeit als Stipendiat des Baden-Württemberg-Stipendiums sieben Monate an der

australischen University of Adelaide. Er beendete sein Studium im Juli 2012 mit der Diplomarbeit "Construction and Decoding of Partial Unit Memory Codes based on Gabidulin Codes".

Seit September 2011 ist Markus Stinner wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT. Im Rahmen eines Industrieprojekts mit Alcatel-Lucent befasst er sich mit Wireless-Backhaul-Systemen der nächsten Generation. Seit Herbst 2011 organisiert und betreut er das *Grundpraktikum Nachrichtentechnik* und ist in die Systemadministration der Institutsrechner eingebunden.



Yingkan Chen, M.Sc., was born in Shanghai, China, in 1986. He re-



ceived his M.Sc. degree in Electrical Engineering in 2011 at Technical University of Munich. His master thesis was developed with a focus

on the implementation of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) receiver algorithms for long haul transmission systems at Nokia Siemens Networks (NSN) in Munich.

Since December 2011, he works as a research assistant in the Wired and Optical Communication Group (LÜT) led by Prof. Norbert Hanik. His current research is focused on the analysis and implementation of next generation passive optical networks (NGPON-2) via OFDM-Access. Since April 2012 Yingkan Chen gives the tutorial for *Optical Communication Systems*.

Dr. **Stefano Rini** received the B.A. degree in computer science from the



Politecnico di Milano, Italy, in 2005, the M.A. degree in statistics from the University of Illinois at Chicago (UIC) in 2008 and the M.A.

and Ph.D. degrees in electrical and computer engineering from UIC in 2010.

He was a a postdoctoral fellow with the Department of Electrical Engineering at Stanford University, Stanford, during the fall and summer of 2011. Since September 2011 he is a postdoctoral fellow at the Technische Universität München. His current research interest is the cognitive interference channel.



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 (vorm. Singethan), Offiziantin Nicole Roßmann, Verwaltungsangestellte, MSCE-Programm

2.5 Lehrbeauftragte und Honorarprofessoren

Dr.-Ing. **Michael Mecking**, BMW AG München Dr. **Francesco Rosetto**, Firma Rohde & Schwarz (seit SS 2011) Apl. Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. **Günter Söder** (seit SS 2011) Dr. -Ing. **Ingo Viering**, Firma Nomor Research GmbH, München

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. **Reimar Lenz** (bis WS 2010/2011) Prof. **Anthony Ephremides**, University of Maryland (SS 2011) Dr.-Ing. **Thomas Hindelang**, EPA München (bis WS 2011/2012) Dr.-Ing. **Gottfried Ungerböck**, Langnau, Schweiz (SS 2012)

2.6 Externe Doktoranden

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

2.7 Studentische und Wissenschaftliche Hilfskräfte

Studentische Hilfskräfte (für die Bibliotheksverwaltung): Johanna Hoppenstedt, Elisabeth Schwab

Studentische Hilfskräfte (für Forschungsprojekte oder Praktikumsbetreuung): Rana Ali Amjad, Christoph Bachhuber, Benjamin Bilz, Gudrun Bollmann, Andreas Ditler, Frederic Eckholt, Katharina Erhardt, Elena Grigoreva, Muhammad Kamran, Syed Muhammad Husnain Kazmi, Tasnad Kernetzky, Soheil Mohammadi, Lorenz Pichler, Stefan Richter, Ammar Sarwar, Ezra Tampubolon, Andrea Grigorescu Vlass, Michael Wiedemann, Mohanad Zaki

Wissenschaftliche Hilfskräfte (Studienabschluss vorausgesetzt, z.B. B.Sc.): Sebastian Bittl, Dimitar Boskov, Onur Günlü, David May, Mahdi Mezghanni, Andrei-Stefan Nedelcu, Adithya Madanahalli Jai Prakash, Lorenz Rädler, Hrishikesh Ravi Mathukkarumukku, Timo Rieck, Syed Naveed Rizvi, Sebastian Schießl, Nebiyat Taye, Tudor Timisescu, Nedra Trabelsi, Jingyi Wang, Xiao Xu

2.8 Ehrungen, Preise und Jubiläen

Hier sind die Professoren, Mitarbeiter, Doktoranden und Diplomanden aufgeführt, die im Berichtszeitraum 10/2010 – 09/2012 für hervorragende Leistungen in Lehre und/oder der Forschung ausgezeichnet wurden. Aufgeführt sind hier nur nur solche Auszeichnungen, die mit dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik bzw. dem Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik in einem unmittelbaren Zusammenhang stehen. Ebenfalls angegeben sind Jubiläen.

Wir beginnen mit den bedeutendsten Auszeichnungen für unseren Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. sc. techn. **Gerhard Kramer**. Im Jahr 2010 wurde ihm eine *Alexander von Humboldt-Professur* verliehen. Mit diesem höchstdotierten internationalen Preis für Forschung in Deutschland zeichnet die Alexander von Humboldt-Stiftung führende und im Ausland tätige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Disziplinen aus. Er soll den Preisträgern ermöglichen, langfristig zukunftsweisende Forschung an deutschen Hochschulen durchzuführen. Für die Finanzierung der ersten fünf Jahre stehen Prof. Kramer nun dreieinhalb Millionen Euro zur Verfügung. Bisher wurde diese höchste Anerkennung nur 25 Wissenschaftlern zuteil. Gerhard Kramer war der erste Humboldt-Professor aus dem Bereich der Elektrotechnik. Im Kapitel 9.1 berichten wir von der Preisübergabe in Berlin am 12. Mai 2011, bei der ein eigens erstelltes Videoportrait von Gerhard Kramer gezeigt wurde. Sie finden es unter *http://www.humboldt-foundation.de/movies/kramer.flv*.

Nur vier Tage später wurde Gerhard Kramer bei einem Festakt in Düsseldorf im Beisein der NRW-Ministerpräsidentin Hannelore Kraft der mit 25000 € dotierte Innovationspreis 2011 der Vodafone-Stiftung übergeben. Friedrich Joussen, Vorsitzender der Geschäftsführung von Vodafone Deutschland, würdigte Kramers herausragende Forschungsleistungen: "Seine Arbeiten zur Informationstheorie leisten einen wichtigen Beitrag zur dynamischen Entwicklung von Schlüsseltechnologien für die Mobilkommunikation in Deutschland und Europa und finden weltweit große Beachtung. Seine Publikation Cooperative Strategies and Capacity Theorems for Relay Networks wurde in wissenschaftlichen Arbeiten bislang über tausend Mal zitiert. Die Arbeit liefert bahnbrechende Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Informationstheorie. In der Praxis bieten seine Forschungsergebnisse die Grundlage, die Übertragungsraten in drahtlosen Netzwerken deutlich zu erhöhen und somit die Mobilfunknetze in Zukunft noch leistungsfähiger zu machen." Die Laudatio von Professor Rudolf Mathar finden Sie im Wortlaut in Kapitel 9.2 dieses Heftes. Zudem gibt es unter der URL http://www.vodafone-stiftung-fuerforschung.de/preistraeger/2011 zwei Videos über die Veranstaltung (video. html) und Gerhard Kramer (inno-video.html).

Gerhard Kramer wurde 2010 zum Fellow des IEEE ernannt und war 2011/2012 Vizepräsident der *IEEE Information Theory Society*. Inzwischen wurde er von den Mitgliedern zum Präsidenten für das Jahr 2013 gewählt. Die IEEE Information Theory Society ist die international bedeutendste wissenschaftliche Gesellschaft in ihrem Gebiet. Siehe auch *http://www.itsoc.org*.

Kurz vor Redaktionschluss kam die Meldung, dass Gerhard Kramer gemeinsam mit Carl Nuzman, seinem ehemaligen Kollegen an den Bell Labs, den 2012 Thomas Edison Patent Award in der Kategorie Telecommunications erhalten hat. Dieser Preis wird jährlich vom Research and Development Council of New Jersey in verschiedenen Kategorien vergeben. Die Preisübergabe erfolgt am 08.11.2012 anlässlich des Council's 50th Anniversary Celebration & 33rd Edison Patent Award Ceremony & Reception. Ausgezeichnet wird das US-Patent 8,218,419. Dieses beschreibt eine Methode, wie man mit geeigneten Pilotsequenzen besonders schnell die "Cross-Talk-Matrize" für ein Vektor-DSL-System schätzen kann.



This chapter lists individuals who received awards for their teaching and/or research during October 2010–September 2012. The chapter restricts attention to members of the Institute for Communications Engineering (LNT) and the Wired and Optical Communications Group (LÜT). Special events are also listed.

Awards given to former members of LNT/LÜT can be found in Chapter 2.9 below.

Awards given to members of the Institute for Communications and Navigation are listed in Chapter 11. For example, Dr. Patrick Henkel was awarded one of two "Förderpreise" by the Vodafone Foundation in 2011.

Congratulations to our colleagues for their accomplishments.



Gerhard Kramer beim Eintrag ins Gästebuch vor der Vodafone-Preisverleihung





Promotions-Preis des Bundes der Freunde der TUM an Dr. Leonardo Coelho

Unsere herzlichsten Glückwünsche für Auszeichnungen im Berichtszeitraum 01.10.2010 – 30.09.2012 gehen auch an folgende Kollegen:

Dipl.-Ing. Hannes Bartz wurde am 21.04.2012 für seine Abschlussarbeit "Implementation of an Error-Correcting Network Code based on a Reed-Solomon Code" mit dem *Professor Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis* geehrt. Dieser Preis in Höhe von 500 € wurde 2009 von Hubert und Ruth Kötter, den Eltern unseres früheren Lehrstuhlinhabers, gestiftet und wird bis 2023 jährlich vergeben. In Kapitel 9.7 berichten wir über die feierliche Preisübergabe im Stadtsaal der Stadt Kronberg im Taunus und die Laudatio von Professor Gerhard Kramer. Eine Kurzbiografie des Preisträgers finden Sie auf Seite 4.

Dr.-Ing. **Leonardo Didier Coelho** erhielt für seine 2010 von Prof. Hanik "mit Auszeichnung" bewertete Doktorarbeit den mit 1500 € dotierten *Promotions-Preis des Bundes der Freunde der TU München*. Das Thema seiner Dissertation lautete: *Modeling, Simulation, and Optimization of Optical Communication Systems using Advanced Modulation Formats*. Der Preis wurde am 07.12.2011 im BMW-Forschungs- und Innovationszentrum München überreicht (siehe nebenstehendes Foto). Eine Kurzbiografie von Dr. Leonardo Coelho finden Sie im Kapitel 5.1 auf Seite 32.

Unsere beiden Mitarbeiter **Michael Heindlmaier**, M.Sc., und **Georg Zeitler**, M.S., wurden von der Fachschaft Elektrotechnik und Informationstechnik für den *Assistentenpreis* 2011 nominiert. Es wird zwar letztendlich jedes Jahr nur ein Assistentenpreis vergeben, aber schon die Nominierung zeigt an, dass die Übungen zu *Nachrichtentechnik 1* bzw. *Nachrichtentechnik 2* von den Studierenden als sehr gut bewertet wurden. Dies zeigte auch die überaus positive Evaluierung durch die Studierenden. Georg Zeitler wurde 2011 bereits zum zweiten Mal nominiert.

Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. **Reimar Lenz**, seit 1980 mit dem LNT verbunden als Diplomand, wissenschaftlicher Mitarbeiter, Doktorand, Habilitand und Lehrbeauftragter für die Vorlesung *Digitale Fotografie und Videometrie*, wurde bei der Akademischen Jahresfeier der TU München am 02.12.2010 mit der *Heinz-Meier-Leibnitz-Medaille* ausgezeichnet (siehe Foto unten links). Er erhielt diesen nach dem Nestor der deutschen Neutronenphysik und einem der bedeutendsten Wissenschaftler der TU München benannten Preis für "seine außergewöhnlichen wissenschaftlichen und technologischen Leistungen auf dem Gebiet der digitalen Bild- und Filmbearbeitung, insbesondere für die Entwicklung des Filmscanners Arriscan auf Basis der CMOS-Halbleitertechnik". Im Februar 2010 wurde ihm von der *Academy of Motion Picture Arts and Sciences* aus gleichem Anlass bereits einer der begehrten *Academy's Scientific and Technical Awards* (Technik-Oscars) überreicht.

Dipl.-Ing. **Tobias Lutz** wurde für sein Forschungsvorhaben "Construction of Robust Timing Codes for Noisy Half-Duplex Relay Networks" mit dem *Qualcomm Innovation Fellowship* 2012 ausgezeichnet. Die Förderung soll herausragende Doktoranden der Elektro- und Informationstechnik bei der Umsetzung innovativer Ideen unterstützen. Erstmals wurde der Preis auch an Doktoranden außerhalb der USA vergeben. Das Preisgeld in Höhe von 10000 € verwendet Tobias Lutz für seinen 6-monatigen Forschungsaufenthalt an der Stanford University bei dem Informationstheoretiker Tsachy Weissman.

Wir schließen diese Aufzählung mit einem seltenen Jubiläum: Unser Akademischer Direktor Dr.-Ing. **Klaus Eichin** feierte im Juli 2011 – drei Monate vor dem Beginn seines Ruhestandes – sein 40-jähriges Dienstjubiläum. Er erhielt aus diesem Anlass vom Präsidenten, Prof. Wolfgang A. Herrmann, die Goldene Ehrennadel der TU München überreicht. Im Kapitel 9.4 auf Seite 88 finden Sie eine Kurzbiografie des Jubilars.



Reimar Lenz und TUM-Vizepräsident Prof. Thomas Hofmann (Foto: Uli Benz, TUM)

2.9 Alumni-Nachrichten und Persönliches

Dr.-Ing. **Stephan Bäro**, seit seiner Promotion 2004 am LNT Mitarbeiter bei der Firma Robert Bosch GmbH, ist nach vier Jahren Auslandsaufenthalt in Tokio in das Stammhaus nach Stuttgart zurückgekehrt. Er arbeitet nun als Gruppenleiter weiterhin in der Entwicklung für Motorsteuergeräte.

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Volkswirt **Gerhard Bauch**, wissenschaftlicher Assistent am LNT von 1996 bis 2001, wurde zum 15.10.2012 an die *TU Hamburg-Harburg* berufen. Er tritt die Nachfolge von Professor Rohling als *Leiter des Instituts für Nachrichtentechnik* an. Von 2001 bis 2009 war Gerhard Bauch bei DOCOMO Eurolabs und unser Partner bei zahlreichen Forschungsprojekten, ehe er zum Februar 2009 auf die W3-Professur für Informationsverarbeitung an die Universität der Bundeswehr München berufen wurde.

Prof. Dr.-Ing. **João Barros**, von 1999 bis 2004 Doktorand am LNT und Program Manager des internationalen Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE), erhielt 2010 den *IEEE Communications Society Young Researcher Award for the Europe, Middle East and Africa region* und 2011 den *IEEE ComSoC and Information Theory Society Joint Paper Award*. Im Oktober 2011 erschien bei Cambridge University Press das Buch *Physical-Layer Security: from Information Theory to Security Engineering* (Autoren: M. Bloch und J. Barros) und schließlich hat er sich im Juli 2012 an seiner Heimatuniversität, der Universidade do Porto, habilitiert.

Dr.-Ing. **Timo Mayer**, wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT von 2005 bis 2008 und seither bei der Firma Rohde & Schwarz GmbH in München tätig, wurde am 01.04.2012 zum Leiter der Arbeitsgruppe *Center of Compentence für Digitale Signalverarbeitung* befördert.

Frau **Erika Singethan**, seit 1985 am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik tätig, hat am 20. Mai 2011 ihren langjährigen Lebensgefährten geheiratet. Seither ist unsere Offiziantin Frau **Erika Herian**. Der Verfasser dieser Zeilen wird sich in Zukunft bemühen, sie nur noch unter diesem Namen anzusprechen. Professor Kramer überbrachte die Glückwünsche des Lehrstuhls (siehe Foto).

Um bei den Geburtstagen niemanden zu vergessen: Im Berichtszeitraum feierten alle Leser einen *runden Geburtstag*, die nach dem 30. September des Jahres $J = 10 \cdot (190 + Z)$ und vor dem 1. November des Jahres J + 2 geboren wurden. Hierbei steht Z für eine beliebige Ziffer.



In dieser Rubrik sind Ehrungen für unsere ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zusammengestellt.

Wir nennen hier ebenfalls freudige Ereignisse persönlicher Art von den jetzigen und den ehemaligen LNT-lern, wie Hochzeiten, runde Geburtstage und Nachwuchs.

Der LNT gratuliert herzlich!



Gerhard Kramer und Erika Herian, geborene Singethan





Gratulation des LNT zu insgesamt 220 Jahren: Manfred Jürgens und Ansgar Ströbele (links) sowie Norbert Hanik und Frank Kschischang (rechts).



Wir berichten über die Feierlichkeiten zum 70. Geburtstag von Joachim Hagenauer im Kapitel 9.5.



Martin Kontny (60) beim Sektempfang in der Bibliothek.

Sollten wir hier jemanden vergessen haben, so bitten wir vorab um Entschuldigung. Gleichzeitig bitten wir alle Alumni um Informationen für zukünftige Nachrichten.

Besonders gratulieren wir

zum 50. Geburtstag:

Herrn Prof. **Norbert Hanik**, LÜT-Chef seit 2004; 1989–1995 am LNT, Herrn Prof. **Frank R. Kschischang**, 2011/2012 Gast am LNT aus Toronto,

zum 60. Geburtstag:

Herrn **Manfred Jürgens**, Mechanikermeister am LNT von 1981 bis 2010, Herrn **Martin Kontny**, zuständig für Vieles am LNT seit 2001, Herrn **Ansgar Ströbele**, Schreinermeister am LNT von 1980 bis 2010,

zum 70. Geburtstag:

Herrn Prof. **Joachim Hagenauer**, LNT-Chef von 1993 bis 2006, Herrn Prof. **Gert Hauske**, Fachgebiet Kybernetik, 41 Jahre am LNT,

zum 80. Geburtstag:

Herrn Gottfried Binkert, LNT-Verwaltungsleiter bis 1994.

Aus dem *Nachwuchsbereich* der TUM-LNT-Alumni sind erstmals seit 2008 nach zehn Söhnen in Serie auch Töchter zu vermelden:

Sept. 2010 Klaus Frantisek Schreckenbach – sein Vater Frank war von 2002 bis 2006 am LNT und 2009 Lehrbeauftragter,

Dez. 2010 Georg Ignatz Liebl – sein Vater Günther war fünf Jahre am LNT und ist weiterhin Doktorand von Prof. Hagenauer,

Jan. 2011 **Gabriel von Kracht** – sein Vater Christoph Hausl ist seit 2004 am LNT tätig und seit 2011 dessen Verwaltungsleiter,

Apr. 2011 **Jakob Maximilian Zangl** – sein Vater Johannes war von 2000 bis 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT,

Apr. 2011 **Benedikt Seeger** – sein Vater Alexander war von 1995 bis 1999 LNT-Mitarbeiter sowie von 2001 bis 2007 Lehrbeauftragter,

Sept. 2011 **Lena Katharina Kaindl** – beide Elternteile, Markus Kaindl und Melanie Kaindl, geb. Witzke, haben am LNT promoviert,

Sept. 2011 **Luzi Magdalena Dingel** – ihr Vater Janis war von 2006 bis 2009 Mitarbeiter am LNT in der LNT-ComInGen Group,

Sept. 2011 **Veronika Herzog** – das vierte Kind unseres ehemaligen Kollegen Rupert, von 1994 bis 2000 am LNT,

Apr. 2012 **Ella Mecking** – ihr Vater Michael war von 1997 bis 2004 LNT-Mitarbeiter und dann Lehrbeauftragter für Information Theory,

Aug. 2012 **Florian Benedikt Hindelang** – sein Vater Thomas war von 1994 bis 2000 Doktorand und 2007 bis 2011 Lehrbeauftragter.

3 Lehrveranstaltungen

3.1 Einige allgemeine Bemerkungen zur Lehre

Gerhard Kramer und Günter Söder

Wenn Sie die nachfolgenden Listen betrachten, so werden Sie feststellen, dass inzwischen die Bologna-Reform auch an der Fakultät EI voll umgesetzt wurde. Alle Studienanfänger ab 2008 werden nach dreijähriger Regelstudienzeit mit dem *Bachelor of Science* (B.Sc.) einen ersten berufsqualifizierenden Abschluss vorweisen können. Nach weiteren zwei Jahren können sie den Titel *Master of Science* (M.Sc.) erlangen. Nur Nachzügler werden noch als *Diplom-Ingenieur* die TUM verlassen.

Für den BSc-Studiengang bietet der LNT neben den beiden Grundlagenvorlesungen NT1 und NT2 von Prof. Kramer zwei Praktika sowie das Wahlmodul *Mobile Communications* von Dr. Hausl (bis 2011: Dr. Hindelang) an. Nicht mehr angeboten wird *Digitale Fotografie und Videometrie*. Wir danken Prof. Lenz für sein mehr als 20-jähriges Engagement für diese Vorlesung. Ebenso bedanken wir uns bei Dr. Hindelang für sein Engagement als Lehrbeauftragter seit 2007.

Im MSc-EI-Studiengang werden vom LNT fünf Vorlesungen

- Information Theory (Dr. Mecking)
- Channel Coding (Dr. Rossetto)
- System Aspects ... (Dr. Viering)
- Multi-user IT (Prof. Kramer)
- Cooperative Comm. (Dr Hausl) sowie zwei Praktika und ein Hauptseminar angeboten. Die Kramer-Vorlesung und das *Praktikum Drahtlose Nachrichtentechnik* (Dr. Hausl) sind seit 2011 neu im Angebot.

Ab Herbst 2012 wird Prof. Kramer die Vorlesung *Information Theory* zu seinem Spezialgebiet übernehmen. Wir danken Dr. Mecking für die tolle Vorlesung, die er mehr als 10 Jahre als Lehrbeauftragter gehalten hat. Mehrmals wurde er von den Studenten für den Dozentenpreis nominiert.

Alle MSc-EI-Vorlesungen werden in englischer Sprache gehalten und stehen auch im Curriculum des internationalen Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE). Für die Vorlesung *Advanced Topics in Communications Engineering* konnten wir mit Prof. Ephremides und Dr. Ungerböck zwei international hoch angesehene Dozenten gewinnen. Zudem werden für MSCE noch ein Seminar und ein Praktikum angeboten (Kapitel 3.2).

Im Kapitel 3.3 folgen drei Veranstaltungen des Fachgebiets *Leitungsgebundene Übertragungstechnik* für die Studiengänge MSc-EI und MSCE. Prof. Hanik hält außerdem noch drei Vorlesungen für das *Lehramt an Beruflichen Schulen* (LB), siehe Kapitel 3.4. Zwei bisher von Dr. Eichin/Prof. Söder betreute LB-Lehrveranstaltungen hat seit 2011 Dr. Hausl übernommen, der nun überdurchschnittlich in die Lehre eingebunden ist.

Im Kapitel 3.5 sind Vorlesungen aufgeführt, die von LNT-Dozenten im Ausland gehalten wurden. Die Referate von Studenten im Hauptseminar sowie im MSCE-Seminar folgen in den Kapiteln 3.6 und 3.7.

- 3.1 Einige allgemeine Bemerkungen zur Lehre
- 3.2 LNT-Veranstaltungen für EI und MSCE
- 3.3 LÜT-Veranstaltungen für EI und MSCE
- 3.4 Studiengang Lehramt an beruflichen Schulen (LB)
- 3.5 Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM
- 3.6 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme
- 3.7 Seminar on Topics in Communications Engineering



Nr. EI0300: PF für EI-BSc 4
Nachrichtentechnik 1
Kramer mit Heindlmaier
Jeweils im Sommersemester
2V + 1Ü, 9 ECTS (zusammen
mit RT1 im Modul Systeme)

Nr. EI0428: WA für EI-BSc 5 Nachrichtentechnik 2 WS 10/11: Kramer mit Zeitler WS 11/12: Kramer mit Dierks 2V + 1Ü, 3 ECTS

Nr. EI0416: WA für EI-BSc 5 **Digitale Fotografie und Videometrie** Nur WS 10/11: Lenz 2V, 3 ECTS

Nr. EI0419: WA für EI-BSc 5/6 **Grundpraktikum Nachrichtentechnik** Kramer mit Lutz u. A. Jedes Winter- und Sommersemester 4P, 3 ECTS

Nr. EI0427: WA für EI-BSc 6

Mobile Communications

WS 10/11: Hindelang

SS 11: Hindelang mit Bartz

SS 12: Hausl mit Bartz

2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch)

Auch WA für MSCE 2

3.2 LNT-Veranstaltungen für EI und MSCE

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.

Elemente der Informationstheorie. Shannon-Grenze für AWGN und BSC. Bandpass-Signale und -Systeme: Analytisches Signal, Hilbert-Transformation. Digitale Modulationsverfahren: FSK, MSK, CPM, PSK, DPSK, QPSK, OQPSK, QAM. Demodulationsverfahren: Kohärente und nicht-kohärente Demodulationsprinzipien. Anwendungen: Satellitenfunk, Richtfunk, Daten-Modem, PN-Modulation. Analoge Modulation: AM, FM. Multiplexverfahren: FDM, OFDM, TDM, CDMA. Entzerrung.

Grundlagen und Anwendungen der Messtechnik mit bildgebenden Halbleitersensoren. Bildsignalerzeugung: Funktionsprinzip von CCD-Zeilen- und Flächensensoren, Gewinnung von Farbinformation, erreichbare Auflösung in Ort und Zeit. Modellierung der systemtheoretischen, geometrischen und radiometrischen Eigenschaften des bildgebenden Systems einschließlich Analog-/Digitalwandlung für die weitere Bildsignalverarbeitung. Farbnormen und Farbmetrik, radiometrische und geometrische Kamerakalibrierung, 3D-Objektvermessung.

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).

Introduction to mobile communication systems. Models for mobile radio channels: path loss models, slow fading (shadowing), fast fading channel, 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 the existing UMTS and its successor LTE, associated with an introduction of CDM(A), OFDM(A), MIMO and scheduling techniques.



Grundlagen und Anwendungen der Systemsimulation in der Nachrichtentechnik mit Programmierbeispielen in C, insbesondere: Erzeugung diskreter und kontinuierlicher Zufallsgrößen, PN-Generatoren, Markovketten, zweidimensionale Zufallsgrößen, lineare zeitinvariante Systeme, diskrete Fouriertransformation, Spektralanalyse, stochastische Prozesse, Digitalfilterung, optimale Filter (Matched- und Wiener-Filter), digitale Basisbandübertragung, Übertragungscodes, Nyquistsysteme.

Nr. EI0433: WA für EI-BSc 6 Praktikum Simulationsmethoden in der Nachrichtentechnik Söder Jeweils im Sommersemester 4P, 3 ECTS

Review of probability theory: uncertainty and mutual information. Source models. Source coding principles. Asymptotic equipartition property. Lossless source coding: prefix-free codes, Shannon Fano codes, Huffman codes. Principles of arithmetic coding, run length coding. Universal source coding (Lempel-Ziv algorithm). Discrete channels and their capacity. Channel coding theorem. Application to practical modulation schemes. Continuous channels: discrete-time, continuous-time, band-limited, AWGN. Limits of communication. Parallel Gaussian channels, fading channels. Multiple-access channels: achievable rate region, orthogonal accessing techniques.

Nr. EI5005: WA für EI-MSc 1 Information Theory Mecking Jeweils im Wintersemester 2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch) Auch PF für MSCE 1

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.

Nr. EI5005: WA für EI-MSc 1 **System Aspects in Communications**WS 10/11: Viering mit Thakur

WS 11/12: Viering mit Rini

2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch)

Auch PF für MSCE 3

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 Multimediadateien, Mobilfunkkanal, Bandspreizverfahren und CDMA-Systeme, wertdiskrete Informationstheorie (Quellencodierung, Kanalkapazität, Lempel-Ziv- und Huffman-Algorithmus).

Nr. EI7124: WA für EI-MSc 1 **Praktikum Simulation digitaler Übertragungssysteme** Söder Jeweils im Wintersemester 4P, 3 ECTS



Nr. EI5008: WA für EI-MSc 2
Channel Coding
Rossetto mit Brauchle
Jeweils im Sommersemester
2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch)
Auch PF für MSCE 2

Introduction to error-control coding. Review of information theory: limits on data transmission, discrete-time channel models, the channel coding theorem(s). 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.

Nr. EI5070: WA für EI-MSc 2

Multi-user Information Theory
Kramer mit Hou
Jeweils im Sommersemester
2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch)
Auch WA für MSCE 2

Source coding. Rate-distortion and multiple descriptions. Capacity-cost. The Slepian-Wolf problem (distributed source coding). The Wyner-Ziv problem (rate-distortion with side information). The Gelfand-Pinsker problem (coding for channels with state). The broadcast channel. The multi-access channel. The relay channel. The multiple relay channel. The multi-access channel with generalized feedback. Interference channels. Network flows. Network coding. Multicast for networks with broadcast and erasures.

Nr. EI7233: WA für EI-MSc 2 **Praktikum Drahtlose Nachrichtentechnik** Hausl Jeweils im Sommersemester 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 heruntergemischte Signale direkt zu bearbeiten. Die Implementierung erfolgt mit den Programmiersprachen Matlab und GNUradio. Insbesondere werden folgende Themen behandelt: Synchronisation im Zeitund Frequenzbereich, Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM) Modulation, Differentielle Modulation, Kanalcodierung, Filterentwurf, Vergleich mit analogem Radio. Erklärungen erleichtern die Einarbeitung in Matlab.

Nr. EI7709: WA für EI-MSc 2/3 **Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme**Kramer und Hanik mit Hou, Gaete bzw. Fehenberger

Jedes Winter- und Sommersemester 3S, 3 ECTS

Für das Seminar werden verschiedene Themen aus den Gebieten der digitalen Kommunikationstechnik ausgewählt, die von den Studenten selbständig bearbeitet werden, zum Beispiel Sprach- und Videocodierung, Multimedia-Übertragung, AdHoc-Netzwerke, optische Übertragungstechnik sowie Informationstheorie und Kanalcodierung. Jeder Student fasst die Ergebnisse seiner Arbeit schriftlich zusammen und hält anschließend einen wissenschaftlichen Vortrag. Themenliste siehe Kapitel 3.6.

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.

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

Lecture 2011: Markov chains and balance equations. Queueing theory: Little's law, single queue (M/M/1, M/M/m, M/G/1, etc.), network of queues and Jackson theorem. Multi-access communication: Aloha, slotted Aloha, collision resolution and splitting algorithms. Routing: Minimum-weight spanning-tree algorithms, shortest path algorithms.

Lecture 2012: Introduction to the Coding Theory. Linear block codes. Cyclic codes. Reed-Solomon and BCH codes. Convolutional codes. ML and MAP decoding. Classical coded modulation. Interleaving, code concatenation, and iterative decoding. Low-density parity-check codes. Turbo codes and other concatenated codes. Modern coding in standards.

Each participant of the seminar is assigned a current topic from the areas of Multimedia Communications over the Internet, Coding and Signal Processing for Source, Channel and Equalization, Network Coding and Network Information Theory or Optical Communications. The aim of the seminar is that the students use scientific literature in order to gain a good understanding of the assigned topic, in order to be able to convey the main ideas in the form of a brief report and a scientific presentation. The presentations are given by MSCE students (see Chapter 3.7).

Nr. EI5061: WA für EI-MSc 3 **Cooperative Communications** SS 11: Hausl (ab 2012 im WS) 2V + 1Ü, 3 ECTS (in Englisch) Auch WA für MSCE 3

Nr. EI5032: WA für MSCE 1 **Communications Laboratory** Hausl mit İşcan Jeweils im Wintersemester 4P, 6 ECTS (in Englisch)

Nr. EI5006: PF für MSCE 2 **Advanced Topics in Communications Engineering** SS 11: Ephremides mit Ghozlan SS 12: Ungerböck mit Böcherer 3V + 1Ü, 6 ECTS (in Englisch)

Nr. EI5034: WA für MSCE 3
Seminar on Topics in
Communications Engineering
Kramer, Hanik, Thakur u. A.
Jeweils im Wintersemester
3S, 6 ECTS (in Englisch)

3.3 LÜT-Veranstaltungen für EI 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, Dämpfungsund Phasenfunktion, Reflexionen, Nebensprechen. Eigenschaften von Koaxialkabeln. Digitale Übertragung: Augenmuster, Intersymbol-Interferenz, Augenöffnung, Rauschen, Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Lineare und nichtlineare Entzerrung. Optimale Empfänger. Übertragungssysteme über Kupferkabel: analoge und digitale Sprachübertragung, ISDN, xDSL, Kabel-TV. Übertragungsmedium "Glasfaser": Laser, Standardfaser, Photodiode, optische Verstärker, Dispersionskompensation. Optische Signalübertragung: Dispersion, Polarisations-Modendispersion, Rauschakkumulation, Bitfehlerrate. WDM-Technik. Optisches Netz.

Nr. EI7125: WA für EI-MSc 1 **Leitungsgebundene Übertragungstechnik** Hanik mit Brennenstuhl Jeweils im Wintersemester 2V + 1Ü, 3 ECTS



Nr. EI5075: WA für EI-MSc 2

Optical Communication Systems

SS 11: Hanik mit Gaete SS 12: Hanik mit Chen 3V + 1Ü, 6 ECTS (in Englisch) Auch WA für MSCE 2

Nr. EI5030: WA für EI-MSc 2
Simulation of Optical
Communication Systems
Laboratory
Hanik mit Inan
Jeweils im Sommersemester
4P, 6 ECTS (in Englisch)
Auch WA für MSCE 2

Nr. EI2181: PF für LB-BSc 1 Grundlagen der Informations-Technik (LB)

Hanik mit Georg Jeweils im Wintersemester 2V + 1Ü, 4 ECTS Auch PF für BWL-BSc 3

Nr. EI2185: PF für LB-BSc 3 **Signaldarstellung (LB)** Hanik Jeweils im Sommersemester 2V + 1Ü, 4 ECTS Auch PF für BWL-BSc 5

Nr. EI2187: PF für LB-BSc 6 Modulationsverfahren (LB) SS 11: Söder, SS 12: Hanik 2V + 1Ü, 3 ECTS Auch WA für BWL-BSc 6 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 Schroedinger 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. 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.

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.

3.4 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.

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.



Praktikum 2011: Charakteristische Versuche und Messungen an nachrichtentechnischen Systemen: Grundlagen der Statistik, Signale und Spektren, Amplitudenmodulation, Frequenzmodulation, Pulscodemodulation, Digitalsignalübertragung.

Praktikum 2012: Typische Versuche aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik: Signale und Spektren, Pulscodemodulation, Amplitudenmodulation, Frequenzmodulation, Digitalsignalübertragung, aktuelles Thema.

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

Nr. EI2191: PF für LB-BSc 6 Praktikum Nachrichtentechnik (LB)

SS 11: Eichin und Söder SS 12: Hausl 3P, 3 ECTS Bis 2011 WA für BWL-BSc 6

Nr. EI2194: WA für LB-MSc 2

Nachrichtensysteme –

Kommunikationssysteme (LB)

SS 11: Eichin, SS 12: Hausl

2V + 1Ü, 5 ECTS

Bis 2011 WA für BWL-MSc 2

3.5 Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM

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-Studenden 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. 2011 las unser Emeritus Professor Joachim Hagenauer seine frühere Vorlesung über *Kanalcodierung*. Ein Jahr später folgte unser Akademischer Direktor Dr. Christoph Hausl mit der deutschsprachigen Vorlesung *Kooperative Kommunikation*. An der TU München hält er die gleiche Vorlesung in Englisch.

The 2011 IEEE Winter School of Information Theory took place in Barcelona, Spain. Jointly organized by UPF (Universitat Pompeu Fabra) and by CTTC (Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya), and officially sponsored by the IEEE Information Theory Society, the biennial winter school continued its tradition to provide opportunities for graduate students to meet, present their research, and get advice from distinguished professors in their areas.

Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik (Kanalcodierung)

Hagenauer Vorlesung am CDHK Tongji University Shanghai 21.03. – 25.03.2011

Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik (Kooperative Kommunikation)

Hausl Vorlesung am CDHK Tongji University Shanghai 14.05. – 18.05.2012

Interference Channels

Kramer Lecture at 2011 European School of Information Theory Barcelona, Spain 14.03. – 18.03.2011



The lecturers in 2011 were Helmut Boelcskei (ETH Zurich), Emre Telatar (EPFL), Daniel Palomar (Hong Kong University), Baltasar Beferull-Lozano (Universitat de Valencia), and Gerhard Kramer.

Kramer's lectures on the third day treated *Interference Channels*. The lecture topics included channel models, cut-set bounds, Fourier-Motzkin elimination, additive white Gaussian noise (AWGN) models in standard form, basic communication strategies (treating interference as noise, TDM, FDM), the Han-Kobayashi region based on rate-splitting and superposition coding, deterministic channels, symmetric downshift channels, MIMO channels with beamforming, and interference alignment.

Interference, Coordination, and Cooperation in Heterogeneous Networks and Local Connectivity

Kramer Lecture at Wireless Information Theory Summer School Oulu, Finland 27.07. – 29.07.2011 The Wireless Information Theory Summer School was hosted by the Centre for Wireless Communications, University of Oulu. The target groups were graduate students and postdoctoral researchers. Leading experts in Wireless Information Theory introduced participants to new areas not yet covered in a comprehensive manner in the literature.

Kramer's lecture on the second day covered *Interference Channels*. The lecture topics included channel models, cut-set bounds, Fourier-Motzkin elimination, additive white Gaussian noise (AWGN) models in standard form, basic communication strategies (treating interference as noise, TDM, FDM), the Han-Kobayashi region based on rate-splitting and superposition coding, deterministic channels, symmetric downshift channels, MIMO channels with beamforming, and interference alignment.

Digital Communications 1

Kramer mit Heindlmaier Lecture at TUM-Asia Singapur 08.08. – 19.08.2011 06.08. – 17.08.2012 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.

Network Flow and Network Coding

Kramer
Lecture at 2012 European School of Information Theory
Antalya, Turkey
16.04. – 20.04.2012

The European School of Information Theory was jointly organized by CTTC (Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya), TUM (Technische Universität München) and Bahcesehir University Istanbul, and officially sponsored by the IEEE Information Theory Society. The event offered graduate students and young researchers the opportunity to learn from experts in information theory through half-day tutorials, as well as the chance to present and discuss their own ongoing work. The lecturers in 2012 were Frans Willem (Eindhoven University of Technology, Netherlands), Sennur Ulukus



(University of Maryland, USA), Alex Dimakis (University of Southern California, USA), Michael Gastpar (UC Berkeley, USA, and EPFL, Switzerland), Amos Lapidoth (ETHZ, Switzerland) and Gerhard Kramer.

Kramer's lectures on the second day treated network flow via Ford and Fulkerson's flow-augmenting path algorithm, multicast via Steiner tree packing, cut capacities, linear network coding via the systems approach of Koetter and Medard, random linear network coding, the linear information flow algorithm for constructing a network code, network coding for reliability, and convolutional network coding. The close relations between network coding and information-theoretic relaying protocols was outlined.

Dr. Gianluigi Liva, Institute for Communications and Navigation at the 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 topic on iterative coding theory.

Kramer offered a 3-day short course on Multi-user Information Theory at the Centre for Wireless Communications at the University of Oulu in Finland. The course is the same one offered to TUM Masters students. The course topics include network flow, network coding, entropy, informational divergence, mutual information, convexity, typical sequences and sets, lossless and lossy source coding, channel coding, multi-access channels, relay channels, relay networks, and network coding.

Die Ferienakademie bietet seit 1984 jedes Jahr ein Kursprogramm an, um begabte und interessierte Studierende der veranstaltenden Universitäten zu fördern. Die Kurse finden in Berggasthöfen 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. In einigen Kursen wird auch gemeinsam an einem Projekt gearbeitet. Ein Freizeitprogramm, bei dem Bergwanderungen natürlich eine große Rolle spielen, ist auch wesentlicher Bestandteil der Ferienakademie.

2012 wurde der Kurs 7 für Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Informatik, Mathematik sowie Physik gemeinsam von Prof. Huber (FAU Erlangen) und Prof. Kramer (TUM) geleitet.

Channel Coding

Liva

Course for the Joint Training
Program for Postgraduate Students,
Nanjing University of Science and
Technology, Changshu, China
23.04. – 28.04.2012

Multi-user Information Theory Kramer

Short Course at the Center for Wireless Communications University of Oulu, Finland 20.08. – 22.08.2012

Network Information Theory and Coding

Kramer mit Böcherer und Huber Kurs 7 bei der Ferienakademie 2012 Sarntal, Südtirol, Italien 23.09. – 03.10.2012



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 Jie Hou (WS 2010/2011 und WS 2011/2012), Oscar Gaete (Sommersemester 2011) und Tobias Fehenberger (Sommersemester 2012).

3.6 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

Wintersemester 2010/2011

14.07.2011

vviiitei seille	
16.12.2010	Stanislav Forshayt – Betreuer: U. Brennenstuhl Wavelength-Specific Transmitter Sources for Passive Optical Networks (PONs)
16.12.2010	Tobias Fehenberger – Betreuer: Dr. Coelho Algorithms and Subsystems for Digital Coherent Optical Receivers
16.12.2010	Nebiyat Taye – Betreuerin: E. Georg Störungen im powerline-basierten Kfz-Bordnetz
13.01.2011	Markus Klügel – Betreuer: Dr. Hausl Game Theory for Wireless Networks
13.01.2011	Feng Chong – Betreuer: O. İşcan Cooperative Diversity in Wireless Networks
20.01.2011	Sebastian Schießl – Betreuer: M. Heindlmaier Aktuelle Ansätze für kabellose Videoübertragung
20.01.2011	Liwei Hai – Betreuer: G. Zeitler Communication with Low-Precision Analog-to-Digital Conversion at the Receiver
20.01.2011	Xiangyu Wang – Betreuer: J. Brauchle Decoding of Interleaved Reed-Solomon Codes
Sommersem	ester 2011
07.07.2011	Bernd Klässner – Betreuer: Dr. Coelho Space-Division Multiplexing for High-Speed Fiber-Optic Communication Systems
07.07.2011	Zifeng Wu – Betreuer: U. Brennenstuhl Optical Interconnects in Computing
07.07.2011	Mohamed Anouar Lakhal – Betreuerin: E. Georg Modellierung eines Powerline-Kanals anhand Vierpoltheorie
14.07.2011	Christopher Tschischka – Betreuer: O. İşcan Network Coding for the 2-Way Relay Channel

Christopher Rosanka – Betreuer: M. Heindlmaier

Network Coding in Combination with Transport Protocols

14.07.2011	Bernd Schmieder – Betreuer: Dr. Hausl Digital Audio Broadcasting		
14.07.2011	David Zander – Betreuer: G. Zeitler SoftCast: One Video to Serve All Wireless Receivers		
Winterseme	ster 2011/2012		
01.12.2011	Dai Bingqing – Betreuer: T. Lutz Protocol for Half-Duplex Constrained Relay Networks		
01.12.2011	Oliver Soulard – Betreuer: H. Bartz Codes for Distributed Storage Systems		
01.12.2011	Mahdi Mezghanni – Betreuer: S. Dierks How Propagation Delays can Increase Degrees of Freedom		
15.12.2011	Ali Nasser – Betreuer: U. Brennenstuhl Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexers (ROADMs)		
15.12.2011	Romain Bethenod – Betreuerin: E. Georg Modelling and Characterization of Impulsive Noise on an In Vehicle PLC Channel		
15.12.2011	Zhanchao Xu – Betreuerin: B. Inan Real-Time Coherent Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transceivers		
15.12.2011	Wei Xiong – Betreuer: M. Stinner Iterative Decoding of LDPC Codes		
12.01.2012	Mohamed Rashwan – Betreuer: G. Zeitler Ultra-Wideband Communications		
12.01.2012	Khalil Fergani – Betreuer: M. Heindlmaier Efficient Broadcast with Index Coding		
12.01.2012	Thomas Vesely – Betreuer: Dr. Hausl Sudoku as Channel Decoding Problem		
12.01.2012	Yiwei Li – Betreuer: O. İşcan Network Coding for the 2-Way Channel		
Sommersemester 2012			
14.06.2012	Andreas Brack – Betreuer: R. Böhnke		

Soft-Input Soft-Output MIMO Detection using a Single Tree

Search

3 Lehrveranstaltungen

14.06.2012 Markus Gsinn – Betreuer: T. Lutz Introduction to Constrained Coding and Symbolic Dynamics (and its Applications to Half-Duplex Networks) 14.06.2012 Mladen Botsov – Betreuer: J. Hou A Survey on Relaying Schemes 21.06.2012 **Djibril Balde** – Betreuer: M. Stinner LDPC Code Analysis based on EXIT Charts 21.06.2012 Hanen Soufi – Betreuer: E. Georg Coded Modulation for Power Line Communications 21.06.2012 Maximilian Engelhardt – Betreuer: T. Fehenberger Four-Dimensional Modulation Formats for Optical Fiber Communication Systems 28.06.2012 Frank Meinl – Betreuer: H. Bartz LDPC Erasure Coding Schemes for Distributed Storage Systems 28.06.2012 Johannes Rabe – Betreuer: H. Ghozlan Capacity Estimation in Optical Fiber Networks 28.06.2012 **E. Deng** – Betreuer: M. Heindlmaier Interference Alignment for Network Coding for Multiple Unicasts

This mandatory course of the MSCE program is a joint seminar of the Institute for Communications Engineering (LNT), the Institute of Communication Networks (LKN) and the Wired and Optical Communications Group (LÜT). 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 (LNT) and Dr. Christian Hartmann (LKN, only 2011).

3.7 Seminar on Topics in Communications Engineering

Wintersemester 2010/2011

14.01.2011	Yoana Aleksandrova – Betreuer: Q. Hofstätter (LKN) Data Transfer Strategies in Peer-to-Peer Networks
14.01.2011	Yi Chen – Betreuer: U. Brennenstuhl (LÜT) Single Fiber Bidirectional Transmission using One Wavelength for Optical Access Networks
14.01.2011	Swaroop Nunna Venkata – Betreuer: Dr. Machuca (LKN) Green Traffic Engineering – An Overview of Network Level Paradigms for Energy Conservation
14.01.2011	Farid Sheikh – Betreuer: M. Heindlmaier (LNT) Network Coding for Distributed Storage Systems
14.01.2011	Ming Huang – Betreuer: J. Hou (LNT) Rate and Distortion

21.01.2011	Jamal Bazzi – Betreuerin: E. Georg (LÜT) Applications of FPGAs in Communication Systems	
21.01.2011	Kazeem Yinusa – Betreuer: Dr. Coelho (LÜT) Four-Dimensional Optimized Constellations for Coherent Optical Transmission Systems	
21.01.2011	Arturo Antonio Gonzales Rodriguez – Betreuer: O. İşcan (LNT) Nonsystematic Turbo Codes	
28.01.2011	Venkatasubramaniam Ramshankar – Betreuer: J. Brauchle (LNT) Decoding of Reed-Solomon Codes beyond the Error Correction Bound	
28.01.2011	Aneeq Ahmed Khan – Betreuer: Dr. Machuca (LKN) Green Core Networks	
28.01.2011	Paola Serna Cristancho – Betreuerin: B. Inan (LÜT) Coherent Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmission	
28.01.2011	Yang Wei – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN) Control in Internet	
Wintersemester 2011/2012		
13.01.2012	Bekir Topaloglu – Betreuer: S. Dierks (LNT) Opportunistic Interference Alignment for Interference – Limited Cellular TDD Uplink	
13.01.2012	Arsany Basta – Betreuer: T. Lutz (LNT) Protocol Coding for Half-Duplex Constrained Relay Networks	
13.01.2012	Scott Kenealy – Betreuer: M. Stinner (LNT) LDPC Codes based on Protographs	
13.01.2012	Juan Pablo Alanis – Betreuer: M. Thakur (LNT) Explicit Congestion Control: Charging, Fairness and Admission Management	
20.01.2012	Artem Kaliuk – Betreuer: H. Bartz (LNT) Where is the Data in the Cloud? – Coding Strategies for	

Distributed Storage Systems

3 Lehrveranstaltungen

20.01.2012	SoftCast: One Video to Serve All Wireless Receivers
20.01.2012	Lorenz Rädler – Betreuer: Dr. Hausl (LNT) Multi-Antenna Strategies in LTE
20.01.2012	Levan Ghaghanidze – Betreuer: U. Brennenstuhl (LÜT) Hollow Core Photonic Crystal Fibers
27.01.2012	Tudor Timisescu – Betreuer: O. İşcan (LNT) Instantaneous Relaying
27.01.2012	Ronald Romero Reyes – Betreuer: M. Heindlmaier (LNT) Interference Alignment for Network Coding for Multiple Unicasts
27.01.2012	Aida Emami – Betreuerin: B. Inan (LÜT) Equalizer Design and Complexity for Digital Coherent Receivers
27.01.2012	Dmytro Bobkov – Betreuer: Dr. Rini (LNT) Information Theory and Neural Coding

Diplomarbeiten Master's Theses Bachelor Theses

4.1 Einige allgemeine Bemerkungen

Gerhard Kramer und Günter Söder

From October 2010 until September 2012 a total of 12 Diploma Theses and 28 Master Theses were supervised by the Institute for Communications Engineering (LNT) and the Wired and Optical Communications Group (LÜT), see Chapter 4.2–4.4. Chapter 4.5 and 4.6 list the 22 Bachelor Theses and the 15 "Ingenieurs-praxis/Forschungspraxis".

Im Berichtszeitraum vom 01.10.2010 bis zum 30.09.2012 wurden an unserem Lehrstuhl 12 Diplomarbeiten (LNT: 8, LÜT: 4) durchgeführt, darunter eine für den LB-Studiengang. Diese sind im Kapitel 4.2 aufgeführt. Bis 2014 werden noch einige wenige Diplomarbeiten folgen. Dann endet nach 114 Jahren und geschätzt ca. 2000 Diplomanden auch für den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik die Ära des Diplom-Ingenieurs. Erst für die Zeit nach dem 01.11.1962, dem Amtsantritt von Prof. Marko - der sich in Kürze zum 50. Mal jährt – können wir (relativ) gesicherte Angaben machen. Seitdem haben 1315 Studierende mit einer Diplomarbeit am LNT ihr Studium der Elektrotechnik (und Informationstechnik) als "Dipl.-Ing." erfolgreich abgeschlossen.

Im Kapitel 4.3 sind 15 Master's Theses für den nun obligatorischen Abschluss "Master of Science" (M.Sc.) der Fakultät EI aufgelistet (LNT: 8, LÜT: 7). Im Kapitel 4.4 folgen 13 Absolventen des englischsprachigen MSCE-Studiengangs, de-

ren Abschlussarbeiten von uns betreut wurden (LNT: 8, LÜT: 5).

Insgesamt haben somit zwischen 10/2010 und 09/2012 vierzig Studierende (Summe der Kapitel 4.2 bis 4.4) ihre Abschlussarbeit (DA oder MT) beim Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT bzw. LÜT) angefertigt. Daraus ergeben sich 20 Arbeiten pro Studienjahr, ein geringfügig kleinerer Wert als in den Jahren 2006 bis 2010 (im Mittel: 22). Auch wenn der Rückgang noch nicht gravierend ist, machen wir uns doch Gedanken darüber, wie man die Attraktivität einer Abschlussarbeit an unserem Lehrstuhl steigern könnte.

Die 22 betreuten Bachelor Theses (für EI-BSc) und Studienarbeiten (auslaufend, nur für den Diplomstudiengang) sind in Kapitel 4.5 zusammengestellt. Nicht alle angegebenen Arbeiten sind gleichwertig. Bachelor Theses nach der neuesten Studienordnung (Studienbeginn ab WS 08/09) sollen in 9 Wochen bearbeitbar sein und haben eine Wertigkeit von 12 ECTS, während vorher nahezu die gleichen Voraussetzungen galten wie für die Master's Thesis.

Das Kapitel 4.6 listet die 15 Studentinnen und Studenten auf, die ihre Ingenieurspraxis (IP, obligatorisch für EI-BSc) bzw. Forschungspraxis (FP, für EI-MSc) unter Aufsicht des LNT ableisteten. IP ersetzt die frühere Industriepraxis und wird meist durch eine Firma direkt betreut. FP ist meist eine Projektarbeit am Lehrstuhl.

- 4.1 Einige allgemeine Bemerkungen
- 4.2 Diplomarbeiten der Studiengänge EI und LB
- 4.3 Master's Theses des Studiengangs EI
- 4.4 Master's Theses des Studiengangs MSCE
- 4.5 Bachelor Theses (BT) und Studienarbeiten (SA)
- 4.6 Ingenieurspraxis (IP) und Forschungspraxis (FP)



LNT

LÜT

LNT

4.2 Diplomarbeiten der Studiengänge EI und LB

06.10.2010 **Matthieu Sciora** – Betreuer: G. Zeitler Doppeldiplom (Ecole Centrale Marseille) Quantize-and-Forward Schemes for LTE Wireless Relay Networks

30.11.2010 **Aymen Dhouib** – Betreuer: J. Brauchle Efficient Erasure Decoding of Reed-Solomon Codes

11.02.2011 **Martin Völkl** – Betreuer: Prof. Söder, G. Zeitler Flash-Animationen für das Lerntutorial LNTwww: M-PSK, Union Bound, Entscheidungsregionen sowie Gram-Schmidt-Verfahren (Studiengang LB)

24.02.2011 **Stefan Dierks** – Betreuer: O. İşcan, Dr. Hausl Design of Channel Codes for Cooperative Communication Systems

25.02.2011 **Stefan Maier** – Betreuer: Dr. Hausl, Dr. Harteneck (Rohde & Schwarz)

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Abwärtsstrecke des Standards LTE-Advanced

22.03.2011 **Georg Rudnick** – Betreuer: Dr. Hausl, H. Mellein (Rohde & Schwarz)

Optimizing Performance Measurements of the LTE Downlink for MIMO and Fading Conditions

28.06.2011 **Rares Sufana** – Betreuer: Dr. Eichin, Dr. Unger (MBDA Systems) Multi-Carrier CDMA für schnell bewegte fliegende Plattformen

12.06.2012 **Christopher Rosanka** – Betreuer: M. Heindlmaier, O. İşcan Quantize-and-Forward Schemes for the Two-Way Relay Channel

24.02.2011 Sonia Landolsi – Betreuer: Dr. Coelho

Performance Evaluation of Multidimensional Modulation Formats in Fiberoptic Communication Systems

29.06.2011 Julia Geib – Betreuerin: E. Georg

Simulation und Optimierung der Datenübertragung über Kupferverkabelung im KFZ

20.10.2011 **Zied Maalej** – Betreuer: Dr. Coelho, A. Napoli, M. Kuschnerov (beide Nokia Siemens Networks)

Non-linear Digital Signal Processing for High-Speed Next Generation Optical Systems

20.12.2011 **Tobias Fehenberger** – Betreuer: Prof. Hanik, Prof. Bayvel (University College London)

Investigations into the Nonlinear Capacity Limits of Fiber-optical Communication Systems

4.3 Master's Theses des Studiengangs EI

06.04.2011 **Ren Zhe** – Betreuer: Dr. Hausl, Ö. Bulakci, A. Saleh (beide NSN) Relay Cell Expansion and Interference Coordination in LTE-Advanced Systems

20.07.2011 **Daniel Ebenhöch** – Betreuer: Dr. Hausl, T. Lutz Design of Modulation Schemes for Half-Duplex Relay Communication

20.07.2011 **Sebastian Bittl** – Betreuer: Dr. Hausl, T. Lutz Code Design for Half-Duplex Relay Communication

07.09.2011 **Chong Feng** – Betreuer: T. Lutz

Application of a Capacity Result for Half-Duplex Line Networks to Various

Examples (Doppeldiplom CDHK)

30.11.2011 Andre Lebedev – Betreuer: H. Bartz, M. Glaenzer (Siemens AG) Entwicklung eines mobilen Systems zur Peilung von IEEE 802.15.4 Sensorknoten

29.03.2012 Fabian Harrer – Betreuer: Dr. Hausl

Design of Turbo Codes with Asymptotic Constant Weight

29.03.2012 Christopher Tschischka – Betreuer: Dr. Hausl, O. İşcan

DAB Transmission with Software Defined Radio

20.07.2012 Julio Ortiz Rojas – Betreuer: J. Hou, M. Heindlmaier Mobility Management Techniques for Moving Terminals by Exploiting Geo-location and Route Information

22.03.2011 Antonio Gomez Barquero – Betreuer: Dr. Coelho, F. Moll (DLR)

Master Thesis of Technical University of Cartagena, Spain

Analysis of Laser Signal Measurements from Optical Satellite Downlinks

30.04.2011 Adriana Veronica Errigo – Betreuer: U. Brennenstuhl

Master Thesis of Politecnico di Torino, Italy

Synchronization for OFDM based Optical Access Networks

13.10.2011 **Yingkan Chen** – Betreuerin: B. Inan

Implementation of Receiver Algorithms for OFDM

20.10.2011 **Daniel Paulus** – Betreuerin: E. Georg

Design und Implementierung von FPGA-basierten Sender und Empfänger für ein PLC-Übertragungssystem

30.11.2011 Frederic Eckholt – Betreuerin: E. Georg, J. Hüttner (Siemens AG)

Optimierung der AGC-Steuerung zur optimalen Unterdrückung von

Störsignaleinflüssen in einem Powerline-Kommunikationssystem

19.04.2012 **Zifeng Wu** – Betreuer: U. Brennenstuhl

Untersuchung der Kanalkapazität in optischen Zugangsnetzen

24.05.2012 **Bernd Schmieder** – Betreuerin: E. Georg

Modeling of Power-Line Communications in Vehicles

4.4 Master's Theses des Studiengangs MSCE

21.10.2010 Ashutosh Kulkarni – Betreuer: M. Heindlmaier, D. Traskov

Network Coding for Heterogeneous Networks

04.11.2010 **Akin Soysal** – Betreuer: O. İşcan, G. Liebl (Nomor Research)

Relaying in Long Term Evolution-Advanced (LTE-A)

04.10.2011 Alexandros Elefsiniotis – Betreuer: G. Zeitler, Dr. Heller

Optimized Channel Equalization for OFDM Communication in Highly

Dynamic Wireless Environments

Diplomarbeiten Master's Theses **Bachelor Theses**

LÜT

LNT



LÜT

LNT

06.10.2011 **Xiaohang Song** – Betreuer: O. İşcan

Network Coding for the Broadcast Channel with Feedback

06.10.2011 Arturo Antonio Gonzalez Rodriguez – Betreuer: O. İşcan,

G. Liebl (Nomor Research)
Interference Management in LTE-A Relaying

06.10.2011 Andrei-Stefan Nedelcu – Betreuer: O. İscan, O. Bulakci,

A. Bou Saleh (beide Nokia Siemens Networks)

Impact of Backhaul Subframe Misalignment on Uplink System Performance of Relay Enhanced LTE-Advanced Networks

13.10.2011 **Ming Huang** – Betreuer: M. Heindlmaier, Dr. Xu (Intel Mobile Communications)

Analysis of Impact of Different Parameter Estimation Methods for 3GPP LTE

10.09.2012 Ghaghanidze Levan – Betreuer: Dr. Rini

Automatic Derivation of General Achievable Regions based on Random Coding Techniques

21.10.2010 Hussein Jalloul – Betreuer: O. Gaete, L. Coelho

Digital Subcarrier Multiplexing for D8PSK and 2ASK-DQPSK at 111 Gb/s Data Rate

25.10.2010 **Tania Safar** – Betreuer: B. Inan, Dr. Striegler (Nokia Siemens Networks)

Investigation on Cross Polarization Phase Modulation of Polarization Multiplexed Signals in Fiber-Optic Communication Systems

18.11.2010 Ali Koc – Betreuer: L. Coelho

Modeling and Numerical Simulation of Fiber-optical Parametric Amplifiers

12.10.2011 Ozgur Karakaya – Betreuerin: B. Inan

Phase Noise Compensation Concepts for a Real Time Implemention of 100G OFDM

13.10.2011 Jamal Bazzi - Betreuer: Dr. Coelho

Channel Coding for Fiber-optical Communication Systems using Four-Dimensional Modulation Formats

4.5 Bachelor Theses (BT) und Studienarbeiten (SA)

27.10.2010 Sebastian Bittl – Betreuer: Dr. Hausl

Demonstration of Network-Coded Two-Way Relaying with Software-Defined Radio (BT)

30.11.2010 Christopher Rosanka – Betreuer: G. Zeitler

Lossy Joint Source-Channel Coding using Raptor Codes (BT)

20.12.2010 Othmane Khelil – Betreuer: Dr. Hausl

Demonstration einer Punkt-zu-Punkt-Übertragung mit Matlab und USRP (BT)

07.02.2011 Michael Unverdorben – Betreuer: Dr. Hausl

Vergleich und Implementierung verschiedener Verfahren zur digitalen FM-Demodulation (BT)

31.03.2011 **Stefan Angelov Hristozov** – Betreuer: Prof. Söder, Dr. Matzner (X-Log Elektronik GmbH)

Nutzung von GPS und Beschleunigungssensoren bei der Lawinenverschüttetensuche (BT)

28.06.2011 **Majdi Msallem** – Betreuer: G. Zeitler

Equalization Techniques for Universal Software Radio Peripherals (BT)

19.07.2011 **Claudius Fink** – Betreuer: M. Heindlmaier, B. Schulz (Rohde & Schwarz)

Modeling of Interference Signals for Coexistence Scenarios in Long Term Evolution (BT)

05.09.2011 Eugen Mehlmann – Betreuer: Prof. Söder

Multimediale Aufbereitung von Quellencodierverfahren für ein Online-Tutorial (BT)

22.09.2011 **Felix Kristl** – Betreuer: Prof. Söder, Dr. Eichin, Dr. Hindelang Didaktische Aufbereitung des Mobilfunkstandards Long Term Evolution (LTE) für ein Online-Tutorial (BT)

04.10.2011 Julian Schiele – Betreuer: O. İşcan

Implementation of a Digital Audio Broadcasting (DAB) Transmitter (BT)

20.10.2011 **Mladen Botsov** – Betreuer: G. Zeitler, Dr. Fertl (BMW) Analysis of Mobile Positioning Techniques in Next-Generation

Heterogeneous Wireless Networks (BT)

19.01.2012 Alexander Laible – Betreuer: Prof. Söder

Multimediale Aufbereitung von Lempel-Ziv-Welch-Algorithmen für ein Online-Tutorial (BT)

31.01.2012 Stefan Richter – Betreuer: Dr. Hausl

Frequenzsynchronisation für OFDM mit Fokus auf Digital Audio Broadcasting (BT)

24.02.2012 **Sebastian Schießl** – Betreuer: M. Heindlmaier

Analog Audio Transmission inspired by Digital Compression (SA)

21.05.2012 Grigorescu Vlass Andrea – Betreuer: Dr. Rini

Investigation of Information Processing in the Human Auditory System (BT)

17.08.2012 Markus Jäger – Betreuer: M. Heindlmaier

Optimierte Zeit- und Ratenallokation in Multi-Way-Relay-Szenarios (BT)

17.08.2012 **Sebastian Semmelbauer** – Betreuer: Dr. Rini

Investigation of Information Processing in the Human Auditory System (BT)

17.09.2012 **Raphael Durner** – Betreuer: Dr. Hausl

Iterative DQPSK-Demodulation und Kanaldecodierung für drahtlose OFDM-Systeme (BT)

17.09.2012 Karl-Tasnad Kernetzky – Betreuer: S. Dierks

Algorithmen mit eingeschränkter Kooperation bei interferenzlimitierter Übertragung (BT)

29.07.2011 Johannes Rabe – Betreuer: U. Brennenstuhl

Implementierung und Code Optimierung der Split-Step Fourier Methode mit

Hilfe der Matlab Parallel Computing Toolbox (BT)

Diplomarbeiten
Master's Theses
Bachelor Theses

LÜT



LNT

08.08.2011 **Mohamed Mahdi Mezghanni** – Betreuerin: E. Georg Simulation und Optimierung eines Eindraht-PLC-Übertragungssystems (SA)

17.08.2012 **Gudrun Bollmann** – Betreuerin: E. Georg Analyse unterschiedlicher Codierverfahren für den PLC-Übertragungskanal (BT)

4.6 Ingenieurspraxis (IP) und Forschungspraxis (FP)

26.05.2011 **Korbinian Berthold** – Betreuer: Prof. Kramer Mathematische Modellierung einer Schwingprüfanlage (IP)

20.07.2011 **Philip Gerke** – Betreuer: Prof. Kramer Entwicklung eines Testfallverwaltungssystems (IP)

11.08.2011 **Stefano Agosta** – Betreuer: Dr. Hausl, Dr. Pauli (Nomor) Joint Transmission Cooperative Multi-Point for LTE-Advanced (FP)

30.11.2011 **Thomas Wohlfahrt** – Betreuer: Prof. Kramer Studies of Network Coding (IP)

22.12.2011 **Alexander Kürzl** – Betreuer: Prof. Kramer Übertragungstechnik bei Smart Metering (IP)

22.12.2011 **Angelika Kamp** – Betreuer: Prof. Kramer SmartGrid und E-Mobility (IP)

21.05.2012 **Sven Martin** – Betreuer: Prof. Kramer Entwicklung und Aufbau eines energieautarken Bewegungssensors (IP)

21.05.2012 **Meriem Askri** – Betreuer: Prof. Kramer Automatisierung von Tests der Systemsteuerung eines Röntgensystems (IP)

28.06.2012 **Benedikt Schwab** – Betreuer: Prof. Kramer Functional Description of AIR (IP)

10.09.2012 **Ezra Tampubolon** – Betreuer: M. Stinner, Dr. Böcherer Migration und Neugestaltung eines Matlab-Experiments und Programmieren eines Matlab-Webinterfaces (IP)

20.09.2012 **Christoph Körner** – Betreuer: Prof. Kramer Energieautarke Lokalisierung in Wireless Sensor Networks (IP)

06.04.2012 **Sven Rheindt** – Betreuer: Prof. Hanik Untersuchung der Linearität und des Signal-Rausch-Verhältnisses an einer Photomultiplierröhre in Abhängigkeit von den Dynodenspannungen" (IP)

13.04.2012 Elisabeth Hafner – Betreuer: Prof. Hanik Stand der Forschung im Bereich Lifelogging und Anwendungen (IP)

27.07.2012 **Ludwig Heinle** – Betreuer: Prof. Hanik Entwicklung eines sensorgestützten Motorcontrollers (IP)

28.09.2012 **Andreas Brenner** – Betreuer: Prof. Hanik Automatisierte Kombination von einzelnen Hardware- und Softwareverbünden (IP)

LÜT

5 Promotionen Habilitationen

5.1 Abgeschlossene Promotionsverfahren

The abstracts of five dissertations completed in the reporting period are listed below. The authors are Danail Traskov, Bernhard Göbel, Leonardo Coelho, Florian Breyer, and Georg Zeitler. Prof. Kramer was G. Zeitler's doctoral advisor - his first dissertation at the LNT in this function, and B. Göbel's second examiner. Prof. Hanik was first examiner for B. Göbel, L. Coelho, F. Breyer and D. Traskov. Special thanks go to Professor Muriel Médard (Massachusetts Institute of Technology) and Professor Michelle Effros (California Institute of Technology) for providing advice with D. Traskov's dissertation after Ralf Kötter's death.

Zwischen Oktober 2010 und September 2012 haben fünf wissenschaftliche Mitarbeiter unseres Lehrstuhls ihre Promotion abgeschlossen: Dr. Danail Traskov und Dr. Georg Zeitler (beide LNT) sowie Dr. Bernhard Göbel, Dr. Leonardo Coelho und Dr. Florian Breyer (alle LÜT). Damit wurden vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik und seinen Vorgängerinstitutionen seit 1906 insgesamt 205 Promotionsverfahren erfolgreich zu Ende geführt.

Professor Kramer war bei der Promotion von G. Zeitler erstmals Doktorvater am LNT, und er war der Zweitgutachter von B. Göbel. Erstgutachter von B. Göbel, L. Coelho, F. Breyer und D. Traskov war jeweils Professor Hanik.

Die Kurzbeschreibungen der fünf Dissertationen folgen ab Seite 33. Zunächst aber die Personalien unserer Doktoranden:

Dr.-Ing. Danail Traskov studierte Elektrotechnik an der Technischen



Universität Darmstadt; 2004 erhielt er seinen Bachelorabschluss (BS). Danach schloss er ein Master-Studium an der University of Illinois

in Urbana-Champaign an, das er 2006 als MS beendete. Danach wurde er Doktorand bei Ralf Kötter, zunächst in Urbana-Champaign und ab Oktober 2007 am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) der TU München. Er arbeitete auf dem Gebiet *Network Coding* mit dem Schwerpunkt auf drahtlosen Netzen. Während eines Aufenthalts bei den Bell Labs (Mai–Juli 2006) arbeitete er mit Gerhard Kramer. Zweimal (2007, 2008) besuchte er Prof. Muriel Médard am MIT.

Am LNT betreute er den Kurs System Aspects in Communication, er war beim Seminar Digitale Kommunikationssysteme beteiligt und verantwortlich für das EU-Projekt NEWCOM++.

2011 ging Dr. Traskov als Postdoc nochmals für einige Monate zu Prof. Médard an das MIT. Inzwischen ist er bei Bain & Company in Frankfurt als Unternehmensberater tätig.

- 5.1 Abgeschlossene Promotionsverfahren
 - Personalien
 - Dissertation Traskov
 - Dissertation Göbel
 - Dissertation Coelho
 - Dissertation Brever
 - Dissertation Zeitler
- 5.2 Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung
- 5.3 Laufende und abgeschlossene Habilitationsverfahren
- 5.4 Vorträge im Doktorandenseminar



Dr.-Ing. Bernhard Göbel, 1978 in München geboren, studierte an der



TUM Elektrotechnik und Informationstechnik. Während seines Studiums absolvierte er mehrmonatige Auslandsaufenthalte in England

und bei Siemens Corporate Research, Princeton, USA. Nach Abschluss seiner Diplomarbeit Anwendung statistischer und informationstheoretischer Methoden auf die Humangenetik am LNT war er von 2004 bis 2010 wissenschaftlicher Assistent von Prof. Hanik. Sein wissenschaftliches Interesse galt den informationstheoretischen Aspekten faseroptischer Nachrichtenkanäle. 2009 verbrachte er einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt bei den Bell Laboratories in Holmdel, USA.

In der Lehre konzipierte und betreute er die Übungen zu Leitungsgebundene Übertragungstechnik und Optical Communication Systems, und betreute das Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme. Er organisierte 2006 das International Graduate Seminar on Information Technology, hielt 2006 an der American University of Beirut gemeinsam mit L. Coelho eine Blockvorlesung sowie 2007 die Übung zu Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik an der Tongji-Universität in Shanghai.

Seine weiteren Aufgaben waren die Leitung des EU-Projekts Collaborative IT Program for Education and Research und die Organisation der 2010 in München stattgefundenen 12th International Conference on Transparent Optical Networks.

Seit März 2011 ist Dr. Göbel in der Konzeptentwicklung der Volkswagen AG, Wolfsburg, tätig. **Dr.-Ing. Leonardo D. Coelho**, geboren 1979 in Recife, Brasilien, stu-



dierte Communications Engineering an der TU München. Von 2005 bis 2011 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet von Prof.

Hanik. Er bearbeitete in Kooperation mit Nokia Siemens Networks das BMBF-Projekt Optimierung optischer WDM-Übertragungssysteme für Kanaldatenrate von 10 Gbit/s bis 100 Gbit/s unter besonderer Berücksichtigung mehrstufiger Modulationsverfahren. In der Lehre war er für die Vorlesung Optical Communication Systems und das zugehörige Praktikum verantwortlich.

Sein Forschungsschwerpunkt lag in der Simulation, der Modellierung und der Optimierung optischer Übertragungssysteme. Ein Teil seiner Forschungsarbeit entstand in enger Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe von Dr. Ronald Freund am Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin, den er 2006 und 2007 für jeweils zwei Monate als Gastwissenschaftler besuchte

Seit November 2011 ist Dr. Coelho bei Nokia Siemens Networks in München tätig, weiterhin im Bereich der optischen Übertragung.

Dr.-Ing. Florian Breyer, geboren 1979 in Ravensburg, studierte an der



Universität Stuttgart Elektrotechnik und Informationstechnik. Von 2005 bis April 2010 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Hanik

im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik. Er bearbeitete dabei in Kooperation mit der Siemens AG – Corporate Technology das Projekt Optimierung und Entzerrung der optischen Signalübertragung über Plastikfasern. Die Forschungsschwerpunkte lagen in der Modellierung optischer Plastikfasersysteme, der Optimierung von Übertragungsverfahren und der experimentellen Evaluierung dieser Verfahren im Labor. Die Implementierung eines Demonstrators in Echtzeit stellte den Abschluss

dieser vorwiegend anwendungsbezogenen Forschungsarbeit dar.

In der Lehre betreute F. Breyer die Vorlesung *Grundlagen der Informationstechnik* (LB) von Prof. Hanik. Seit August 2010 ist Dr. Breyer bei der Firma Rohde & Schwarz in München im Geschäftsbereich Messtechnik in der Abteilung *Center of Competence* tätig.

Dr.-Ing. Georg Zeitler, 1982 in München geboren, studierte ab 2002



an der TU München Elektrotechnik und Informationstechnik. Nach Abschluss seiner Bachelorarbeit wechselte er 2005 für ein zweijähriges

Masterstudium an die University of Illinois in Urbana-Champaign, wo er sich auf Signalverarbeitung und Informationstechnik spezialisierte. Nach Abschluss seiner Masterarbeit an der UIUC zum Thema Universelle Prädiktion von individuellen Sequenzen war G. Zeitler von 2007 bis 2012 wissenschaftlicher Assistent von Prof. Kötter und Prof. Kramer. Sein wissenschaftliches Interesse galt informationstheoretischen Aspekten und der Optimierung von Quantisierern mit geringer Auflösung für nachrichtentechnische Systeme. Im Frühling 2010 verbrachte er einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt an der UIUC.

In der Lehre konzipierte und betreute G. Zeitler die Zentralübungen und teilweise die Vorlesung zur Veranstaltung *Nachrichtentechnik 2*. Daneben betreute er studentische Arbeiten im Rahmen der beiden vom LNT angebotenen Seminare und er fungierte als Ansprechpartner der Studierenden für Industriekontakte (*Ingenieurspraxis* im Bachelorstudiengang EI).

Zu seinen weiteren Aufgaben am LNT zählte von 2007 bis 2010 die Bearbeitung des Forschungsprojektes *Network Coding for Multihop Relaying*, in welchem in Kollaboration mit DOCOMO Euro-Labs GmbH Quantize-and-Forward Strategien für Relay-Netze entwickelt wurden.

Seit Juni 2012 ist Dr. Zeitler bei der BMW AG in München tätig.

Dr.-Ing. Danail Traskov

Network Coding for the Multiple Access Layer

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Eberspächer 1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

Berichter: Prof. Muriel Médard (Massachusetts Institute of Technology)
 Berichter: Prof. Michelle Effros (California Institute of Technology)

Tag der mündlichen Prüfung: 22.10.2010

Diese Arbeit untersucht das Mehrfachzugriffsproblem in drahtlosen Netzwerken, wenn Netzcodierung verwendet wird. Es wird ein Algorithmus zur Ressourcenallokation hergeleitet, der nicht einzelne Kanten aktiviert, sondern sogenannte Hyperkanten, und der dadurch aus den Vorzügen von zufälliger Netzcodierung Nutzen ziehen kann.

Es wird sowohl durch theoretische Untersuchungen als auch durch Simulationen gezeigt, dass ein deutlich höherer Datendurchsatz erreicht wird, wenn Mehrfachzugriff und Netzcodierung gemeinsam optimiert werden, als wenn man beide Probleme separat betrachtet. Darauf aufbauend wird in der Arbeit ein verteilter heuristischer Algorithmus hergeleitet, der das zu Grunde liegende Optimierungsproblem dezentralisiert löst.

Weiterhin wird untersucht, in welchem Umfang eine Synchronisation des Netzwerks nötig ist, um eine korrekte Konvergenz von verteilten Algorithmen zu gewährleisten. Es wird die Frage behandelt, inwieweit Netzcodierung Vorteile bringt, wenn man mehrere Verbindungen betrachtet und dadurch die Netzcodes nicht mehr zufällig sein können. Eine bestimmte Klasse von Codes - die sog. sofort decodierbaren Codes werden analysiert, und es wird durch Simulationen belegt, dass durch ihre Verwendung der Datendurchsatz erhöht werden kann. Schließlich wird auf den Zusammenhang zwischen Datendurchsatz und Verzögerung bei netzcodierter Übertragung eingegangen und es werden Verfahren zur Reduktion der Verzögerung entwickelt.

The advent of network coding, in the early years of the new millennium, awoke the entire community of com-

puter networking from a dogmatic slumber. Ever since computers were connected to exchange data, nobody had questioned the implicit assumption that the flow of information satisfies the same rules as the flow of a liquid through a network of pipes. In a sequence of works by Ahlswede et al., Li et al., and Kötter and Médard, it was shown that this simple analogy falls short of characterizing the nature of information and of capturing the rich set of operations within which we can manipulate it. It soon became clear that the notion of network coding can have a profound impact on the design of communication networks and promises significant gains in terms of performance as well as better and more robust architectures.

In this work, we address network coding for the multiple access layer in wireless networks. We propose a scheduling technique that activates hyperarcs rather than arcs, as in classical link-based scheduling, and therefore can harness the gains of random network coding.

We encapsulate the constraints on valid network configurations in a conflict graph model and formulate a joint optimization problem taking into account both the network coding subgraph and the schedule. By means of simulations, we show that jointly optimizing the network coding subgraph and the transmission schedule leads to a substantial performance improvement. Using Lagrangian relaxation, we decompose the overall problem into two subproblems, a multiple shortest path problem, and a maximum weighted stable set (MWSS) problem. We show that, if we use a greedy heuristic for the MWSS part of the problem, the overall algorithm is completely distributed. We provide extensive simulation



results for both the centralized optimal and the decentralized algorithms.

Next, we look at relaxing the assumption of synchronization in the network. We propose an asynchronous algorithm for computing multicast subgraphs, in analogy to the well-known distributed asynchronous Bellman-Ford algorithm for routing. It turns out that asynchronous algorithms require a strictly convex problem formulation, which poses certain restrictions on the network model, most importantly the schedule has to be assumed fixed.

We provide extensive simulation results showing fast convergence. despite the lack of any central clock in the network, and robustness with respect to link or node failures. We then extend network coding to take place across different independent sessions. We propose a framework for joint optimal scheduling of packet transmissions and network coding with the restriction that packets have to be decoded after one hop. We compute the stability region of this scheme and propose an online algorithm that stabilizes every arrival rate vector therein. The online algorithm requires computation of stable sets in an appropriately defined conflict graph. We show by means of simulations that this inherently hard problem is tractable for some instances and that network coding extends the stability region over routing and leads, on average, to a smaller backlog.

Finally, we look at the relationship between throughput and delay for network coded transmissions in erasure broadcast channels. We present a systematic framework for the minimum of decoding delay under instantaneous decoding constraints.



Optical networks transport nearly all data traffic worldwide. The bit rate at which data is transmitted in these networks used to be limited by optical and electrical components rather than by the transmission properties of the fibers themselves.

The progress in the area of optical and electronic components has created increased interest in spectrally efficient modulation schemes and, consequently, in the information-theoretic limits of the fiber-optic channel.

The optical data transmission over single-mode fibers is impaired by a multitude of physical effects. These include linear phase distortions, nonlinear effects as well as additive noise from optical amplifiers, which is distributed along the transmission link. The interaction of these effects is one of the main difficulties in calculating the information-theoretic limits of data transmission over fiberoptic channels, which have so far been determined only for simplified scenarios or by means of extensive numerical simulations.

This work starts with a review of the physical basics of data transmission over single-mode fibers, which provide the background for a formulation of abstract channel models. These models are based on the AWGN channel and include additional signal-dependent additive and phase-modulating noise processes. An information-theoretic method that is suitable for the analysis of such (so-called partially coherent) channels is developed. This method decomposes the mutual information in terms of polar coordinates.

A channel model in the frequency domain allows the separate analysis of interacting nonlinear effects. The capacity of the fiber-optic channel is Dr.-Ing. Bernhard Göbel

Information-Theoretic Aspects of Fiber-Optic Communication Channels

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckehard Steinbach 1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer (USC, Los Angeles)

Tag der mündlichen Prüfung: 05.11.2010

estimated with this model for various scenarios.

A typical result for all discussed nonlinear channel models is that the capacity has a maximum in the signal power (and hence the SNR) – see the cover page of the report 2008–2010. The maximum capacity is reached by a channel that is impaired only by noise and by the nonlinear interaction of signal and noise.

A phenomenological time-domain channel model is developed to obtain an additional estimate of the capacity of wavelength division multiplexing systems. This model confirms existing results.

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

Nahezu das gesamte weltweite Datenaufkommen wird über optische Netze übertragen. Die Bitrate, mit der in diesen Netzen die Datenübertragung erfolgt, war in der Vergangenheit eher durch die optischen und elektrischen Komponenten als durch die Übertragungseigenschaften der Glasfasern selbst begrenzt. Bedingt durch den technischen Fortschritt im Bereich optischer und elektronischer Komponenten gewinnen aber seit einiger Zeit spektral effiziente Modulationsformate und damit die Frage nach den informationstheoretischen Grenzen des Faserkanals zunehmend an Bedeutung.

Die optische Datenübertragung über Monomode-Glasfasern wird durch eine Vielzahl physikalischer Effekte gestört. Hierzu zählen lineare Phasenverzerrungen, nichtlineare Effekte sowie das verteilt auf der Übertragungsstrecke auftretende additive Rauschen der optischen Verstärker. Vor allem wegen der Wechselwirkung dieser Effekte konnten die in-

formationstheoretischen Grenzen der Datenübertragung über faseroptische Kanäle bisher nur für vereinfachte Sonderfälle oder mit Hilfe aufwändiger numerischer Simulationen ermittelt werden.

In der Dissertation werden zu Beginn die physikalischen Grundlagen der Datenübertragung über Monomodefasern beleuchtet, anhand derer in späteren Kapiteln abstrahierte Kanalmodelle formuliert werden. Diese Modelle basieren auf dem AWGN-Kanal und berücksichtigen zusätzlich signalabhängige additive und phasenmodulierende Rauschprozesse. Eine für die Analyse solcher (sogenannter partiell kohärenter) Kanäle geeignete informationstheoretische Methode wird durch Zerlegung der Transinformation in Polarkoordinaten entwickelt.

Ein Kanalmodell im Frequenzbereich erlaubt die getrennte Analyse miteinander wechselwirkender nichtlinearer Effekte. Mit diesem Modell wird die Kapazität des faseroptischen Kanals für verschiedene Szenarien abgeschätzt.

Typisch für alle betrachteten nichtlinearen Kanalmodelle ist, dass die Kapazität bezüglich der Signalleistung (und damit des SNRs) ein Maximum aufweist, wie es auf der Titelseite des Heftes 2010 zu sehen ist. Die höchste Kapazität erreicht ein Kanal, der nur durch Rauschen und durch die nichtlineare Wechselwirkung von Signal und Rauschen gestört wird.

Für die Abschätzung der Kapazität von Systemen im Wellenlängenmultiplex wird zusätzlich ein phänomenologisches Kanalmodell im Zeitbereich entwickelt, das bestehende Ergebnisse bestätigt.

Die Dissertation erschien im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe "Informationstechnik".

Dr.-Ing. Leonardo D. Coelho

Modeling, Simulation, and Optimization of Optical Communication Systems using Advanced Modulation Formats

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Eibert 1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Werner Rosenkranz, Universität Kiel

Tag der mündlichen Prüfung: 01.12.2010

Diese Arbeit beschreibt verschiedene numerische Modelle und Algorithmen zur Simulation und Optimierung optischer Übertragungssysteme, die mehrstufige Modulationsverfahren anwenden. Der Schwerpunkt liegt auf Systemen mit Direktdetektion. Als Modulationsverfahren werden Phase Shift Keying (PSK) oder On-Off Keying (OOK) oder eine Kombination von beiden verwendet.

Eine semi-analytische Methode, die auf der der Karhunen-Loève-Reihenentwicklung basiert, wurde abgeleitet, um die Bitfehlerrate (BER) genau auswerten zu können. Die Methode wurde durch den Vergleich der berechneten BER mit experimentellen Ergebnissen, analytischen Formeln und Standard- bzw. multikanonischen Monte-Carlo-Verfahren überprüft. Von allen untersuchten Modulationsverfahren hat DPSK die beste "Back-to-Back" BER für eine feste Datenrate, gefolgt von DQPSK.

Schließlich werden in der Arbeit verschiedene Optimierungsstrategien untersucht. Zum einen wird eine einfache Methode zur Ermittlung des theoretischen Optimums der Fasereingangsleistung für einen festen nichtlinearen Phasenversatz vorgestellt. Daneben werden noch einige schnelle Optimierungsregeln angepasst: Die sog. Straight-Line-Regel wurde verbessert, um die Nichtlinearität der dispersionskompensierenden Faser (DCF) zu berücksichtigen. Vorgestellt wird zudem eine Optimierungsmethode, die auf dem Nonlinear Phase-Shift Criterion basiert. Um den Optimierungsprozess zu beschleunigen, wurde noch ein globaler Optimierungsalgorithmus entwickelt.

Es wurde gezeigt, dass für Symbolraten kleiner als 40 Gsym/s die Auswirkungen von nichtlinearem

Phasenrauschen dominant ist, während bei größeren Symbolraten die Systemqualität durch Polarisationsmodendispersion (PMD) begrenzt wird. Wird PMD nicht berücksichtigt, so zeigen DPSK und DQPSK ähnliches Verhalten.

Die Dissertation wurde in der Reihe "Informationstechnik" im Verlag Dr. Hut veröffentlicht.

This work describes several numerical models and algorithms, which enable the fast and accurate simulation and optimization of fiber-optic communication systems using advanced modulation formats. The focus was put on systems using direct-detection and phase-shift keying (PSK), on-off keying (OOK) and a combination of both as modulation format.

The performance of an optical communication system is measured in terms of bit-error rate (BER), where the main source of performance degradation are: the accumulated amplified spontaneous emission (ASE) noise generated by the optical amplifiers, polarization-mode dispersion (PMD) and fiber dispersion and nonlinearity. When the light propagates inside the fiber, the ASE noise interacts with the optical signal through the fiber nonlinearity, inducing nonlinear phase noise (NPN). These effects, together with arbitrary filtering, make the accurate evaluation of the BER the most complex part of the receiver model. In order to accurately evaluate the BER in the presence of NPN, a semi-analytical method is presented, where a Hermitian kernel is derived for each modulation format. It is based on the principle of Karhunen-Loève series expansion and on a system transmission matrix The method was validated by comparing the calculated BER with



experimental results, analytical formulas and the standard and multicanonical Monte Carlo simulation methods. Among all investigated modulation formats, differential phase shift keying (DPSK) has shown the best back-to-back BER, followed by DOPSK for a fixed data rate.

The best performance of a fiberoptic communication system operating in the linear regime occurs when the chromatic dispersion is fully compensated. If fiber nonlinearities are of concern, then the best performance may not be at full dispersion compensation. Therefore, the location and length of the dispersion compensating fibers (DCF) strongly affects the performance and should be optimized.

To this aim, three optimization strategies were investigated. First, a simple method for identifying the theoretical optimum fiber input power for a fixed nonlinear phase-shift was presented. Then, two fast optimization rules were investigated: the straight-line rule was improved to include the nonlinearity of the DCF and an optimization method based on the nonlinear phase-shift criterion was presented. Finally, a global optimization algorithm was developed in order to speed up the optimization process.

An optimum range of symbol rates around 40 Gsym/s $(4 \cdot 10^{10} \text{ symbols})$ per second) was identified. It was shown that the effect of NPN was dominant for symbol rates below 40 Gsym/s while PMD limits the system performance for symbol rates above 40 Gsym/s. Moreover, in the absence of PMD, DPSK and DQPSK have similar performance.

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



its ease of use

This thesis deals with equalized multilevel transmission schemes for polymer optical fiber (POF) systems. The standard 1 mm step-index Polymer optical fiber (SI-POF) is increasingly used in short range communication links due to its large core diameter of 1 mm, its robustness and

The main drawbacks of this fiber are the small bandwidth-length product of about 50 MHz · 100 m due to modal dispersion and the big attenuation of about 150 dB/km. One way to overcome this bandwidth limitation is to use digital signal processing at the transmitter or the receiver which is investigated in this thesis.

In particular, the standard 1 mm PMMA-based SI-POF is investigated. A fiber model is developed which includes the three major fiber effects such as mode-dependent attenuation, modal dispersion, and mode coupling. As only intensity modulation can be applied for directly-modulated light sources, multi-level modulation is combined with receiver equalization schemes to overcome the bandwidth limitations due to modal dispersion and the active components.

This combination is evaluated in terms of theoretical equalizer bounds and various experiments. It is experimentally shown that record bitrates of up to 2 Gbit/s over 100 m SI-POF can be achieved by the use of receiver equalization and a red laser diode.

Finally, a full working Gigabit Ethernet media converter is implemented on a FPGA platform using a red LED, PAM-4 modulation, linear receiver equalization, forward error correction, and clock recovery. This demonstrator represents the first reported Gigabit Ethernet connection

Dr.-Ing. Florian Breyer

Multilevel Transmission and Equalization for Polymer Optical Fiber Systems

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll 1. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

2. Berichter: Prof. ir. A.M.J. Ton Koonen (TU Eindhoven, NL)

Tag der mündlichen Prüfung: 21.12.2010

using a commercial red LED and up to 25 m SI-POF.

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

Diese Arbeit behandelt die Anwendung mehrstufiger Modulationsformate mit Empfängerentzerrung für optische Polymerfaser (POF) Systeme. Die Standard 1 mm Stufenindex POF (SI-POF) wird dabei detailliert untersucht. Diese Faser wird mehr und mehr in kurzen optischen Kommunikationsverbindungen eingesetzt aufgrund ihres großen Kerndurchmessers von 1 mm. Daraus resultiert eine einfache Verarbeitung, große Robustheit und die Möglichkeit zur steckerlosen Konfektionierung.

Für diese Faser wurde ein Kanalmodell entwickelt, das die drei wichtigsten Mehrmoden-Fasereffekte beinhaltet, nämlich die modenabhängige Dämpfung, die Modendispersion und die Modenkopplung. Dieses Modell wurde durch Messungen im Labor evaluiert. Die Abweichungen des Modells waren relativ gering, so dass der optische Plastikfaserkanal mit Hilfe des entwickelten Modells sehr gut approximiert werden kann.

In solchen POF-Systemen kann nur Intensitätsmodulation angewendet werden, da nur eine direkte Modulation der optischen Lichtquelle möglich ist. Deshalb wird eine Mehrstufen-Modulation mit empfängerseitiger Entzerrung kombiniert, um die Bandbreitenbeschränkung aufgrund von Modendispersion und den aktiven optischen Komponenten zu kompensieren.

Diese Kombination wird sowohl in theoretischen Betrachtungen der maximalen Entzerrerleistungsfähigkeit als auch in zahlreichen Experimenten untersucht. Es wird gezeigt, dass die Übertragung einer Rekord-Bitrate von bis zu 2 Gbit/s über 100 Meter SI-POF durch Verwendung einer Laserdiode als optisches Sendeelement und der Kombination aus Mehrstufenmodulation und Entzerrung möglich ist.

Des Weiteren wurde erstmalig die Übertragung von 1.25 Gbit/s über 50 m SI-POF unter Verwendung einer kommerziellen roten LED nachgewiesen. Alle diese Ergebnisse wurden mit sogenanntem "Offline Processing" erreicht. Es steht für das blockweise Abspeichern mittels eines Oszilloskops und der anschließenden Verarbeitung in einem PC. Somit stellt diese Art der Messung einen Zwischenschritt zwischen reiner Simulation und einer Echtzeit-Übertragung dar.

Zu Beginn dieser Arbeit lagen die Rekord-Datenraten-Längen-Produkte bei 53.1 Mbit/s · km für Laser und bei 12.5 Mbit/s · km für LED. Diese Rekorde konnten im Rahmen dieser Arbeit auf 200 Mbit/s · km für Laser bzw. 75 Mbit/s · km für LED. erhöht werden.

Abschließend wird in dieser Dissertation die Implementierung eines Medienkonverters zur Gigabit-Ethernet-Übertragung vorgestellt, der mit einer LED als Sendeelement arbeitet und auf einer FPGA-Plattform basiert, die folgende Signalverarbeitungsalgorithmen ausführt: PAM-4 Modulation, lineare Empfängerentzerrung, Fehlerkorrektur und Taktrückgewinnung. Mit diesem Demonstrator konnte erstmalig eine Ethernet-Verbindung im Gigabit-Bereich mit roten LEDs und bis zu 25 m SI-POF realisiert werden.

Die Arbeit erschien im Verlag Dr. Hut München in der Reihe "*Informationstechnik*".

Dr.-Ing. Georg Zeitler

Low-Precision Quantizer Design for Communication Problems

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Utschick
1. Berichter: Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Berichter: Prof. Andrew C. Singer, Ph.D. (University of Illinois)
 Berichter: Prof. Upamanyu Madhow, Ph.D. (University of California)

Tag der mündlichen Prüfung: 19.03.2012

Die Arbeit untersucht den Entwurf von Quantisierern mit geringer Auflösung für zwei ausgewählte Probleme in der Kommunikationstechnik: zum einen den Relais-Kanal mit Mehrfachzugriff und Komprimierung der Empfangsinformation am Relais, zum anderen den Punkt-zu-Punkt-Kanal mit Intersymbolinterferenz, additivem Rauschen und Analog-Digital-Wandlung am Empfänger.

Für den Relais-Kanal mit Mehrfachzugriff werden skalare und zweidimensionale Quantisierer für die am Relais vorliegende Information entworfen, wobei der Fokus auf einem Verfahren geringer Komplexität liegt. Außerdem wird die Zuteilung der Kompressionsraten für maximale Summenrate untersucht, wobei das Protokoll am Relais darin besteht, die Empfangssequenzen mittels Vektorquantisierung zu komprimieren und diese dann an die Senke weiterzuleiten.

Anschließend wird der Entwurf von Analog-Digital-Wandlern für Interferenz-Kanäle betrachtet, mit dem Ziel, die erreichbare Informationsrate zu maximieren. Für rauschfreie Kanäle wird die minimal nötige Alphabetgröße des Analog-Digital-Wandlers für maximale Informationsrate in Abhängigkeit von der Größe des Sendealphabets bestimmt. Außerdem werden skalare und zweidimensionale Analog-Digital-Wandler für verrauschte Kanäle entworfen.

Abschließend wird das vorgestellte Verfahren zum Entwurf von Analog-Digital-Wandlern noch ergänzt durch die Kanalschätzung mittels eines adaptiv regelbaren Quantisierers mit nur einem Bit Auflösung. Neben unteren Schranken für den mittleren quadratischen Fehler werden Schätzund Adaptionsverfahren entwickelt,

welche die berechneten Schranken annähernd erreichen.

Die Dissertation ist 2012 im Verlag Dr. Hut, München, in der Reihe "Informationstechnik" erschienen.

In modern digital communication systems, quantization plays a pivotal role for two main reasons: First, the signals to be communicated are often analog in nature, and they need to be digitized at the transmitting side in order for the advantages of digital technology to be leveraged, for example easy storage and errorcorrection coding, to name a few. Second, the received waveform as a continuous-time and analog signal is sampled and quantized by an analogto-digital converter at the front-end of a digital receiver to allow the application of sophisticated digital signal processing algorithms, thereby enhancing the quality of detection and decoding.

For decades, the design of analogto-digital converters for communication systems has been driven by metrics that permit system designers to proceed with their design and refinement unaware of the applications for which they will eventually be used. As a result, metrics such as spurious free dynamic range or total harmonic distortion tend to dominate the design of such systems. However, if the precision of quantization is reduced (to as low as one bit per sample in the most extreme case), such a system-agnostic design of the quantization step can have a severe impact on system performance.

The goal of this thesis is to explicitly design quantizers for communication problems. In lieu of employing traditional metrics for that design, we use figures of merit suitable



for communications such as mutual information for coded systems, we develop algorithms for the design of such quantizers, and we derive performance bounds taking the quantization step into account.

In this work, the design of lowprecision quantizers for two selected problems in communications is addressed: the multiple-access relay channel with compression of the received signals at the relay, and the point-to-point link with intersymbolinterference, additive noise, and analog-to-digital conversion at the receiver. For the multiple-access relay channel, scalar and two-dimensional quantizers are designed for log-likelihood ratios at the relay yielding a low complexity scheme. The sum-rate optimal allocation of compression rates using a compress-and-forward strategy is also considered. The lowprecision analog-to-digital converter design problem for intersymbol-interference channels is studied next, where the focus is on maximizing the information rate over such channels. The smallest possible size of the analog-to-digital converter alphabet yielding maximal information rate is derived for noiseless channels as a function of the transmit alphabet size, and scalar and two-dimensional converters are designed for noisy channels. Finally, the analog-to-digital converter design problem is complemented by studying channel estimation using a single-bit adaptively dithered quantizer. Lower bounds on the mean squared error are derived, and dither and estimation schemes are proposed that are shown to closely approach the lower bounds.

This thesis was published 2012 by Dr. Hut Verlag in the series "Informationstechnik".



Der nebenstehenden Liste ist zu entnehmen, dass Prof. Gerhard Kramer im Berichtszeitraum bei sieben Promotionen in Aachen, Bremen, Göteborg (Chalmers University), Lausanne, Malaga, Lund und Stockholm als Koreferent mitgewirkt hat. Bei Johnny Karout war er "Licentiate Thesis Reviewer".

Prof. Norbert Hanik war Zweitgutachter eines Promotionsverfahrens an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg.

5.2 Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung

July 2011 **David Morales**, Ph.D.

Performance Analysis of Non-Ideal MIMO Systems in Fading Channels

1st Advisor: Prof. José F. Paris, University of Malaga, Spain

2nd Advisor: Prof. J. T. Entrambasaguas, University of Malaga, Spain

Co-Examiner: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Sept. 2011 **Johnny Karout**, (Licentiate Thesis)

Modulation Optimization for Noncoherent Optical Systems

1st Advisor: Prof. Erik Agrell, Ph.D., Chalmers University, Sweden

Examiner: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Sept. 2011 **Majid Khormuji**, Ph.D.

Coding Schemes for Relay Networks

1st Advisor: Prof. Mikael Skoglund, Ph.D., KTH Stockholm, Sweden

Opponent: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Sept. 2011 Muhammad Rameez Asif, Ph.D.

Analysis and Application of Digital Backward Propagation in High Bit-Rate Optical Transmission Systems

1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauss, FAU Erlangen-Nürnberg

2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

Feb. 2012 Dr.-Ing. **Georg Böcherer**

Capacity-Achieving Probabilistic Shaping for Noisy and Noiseless Channels

1. Berichter: Prof. rer. nat. Rudolf Mathar, RWTH Aachen

2. Berichter Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

May 2012 Florian Hug, Ph.D.

Codes on Graphs and More

1st Advisor: Prof. Rolf Johannesson, Ph.D., Lund University, Sweden

Co-Examiner: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

July 2012 Shirin Saeedi Bidokhti, Ph.D.

Broadcasting and Multicasting Nested Message Sets

Advisors: Prof. Christina Fragouli, Ph.D., EPF Lausanne, Switzerland

Prof. Suhas Diggavi, Ph.D., EPF Lausanne, Switzerland

Co-Examiner: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

July 2012 Dr.-Ing. Humberto Vasconcelos Beltrão Neto

Analysis and Design of Modern Coding Schemes for Unequal Error

Protection and Joint Source-Channel Coding

1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Werner Henkel, Jacobs University, Bremen

2. Berichter Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

5.3 Laufende und abgeschlossene Habilitationsverfahren

Jan. 2012 Dr.-Ing. Christoph Hausl

Satellitenkommunikation mit Netzcodierung

Zwischenevaluierung zum Habilitationsverfahren der Fakultät EI der TUM

Mentoriat: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik und Andere

Jan. 2012 **Petros Elia**, Ph.D.

Fundamental Rate-Reliability-Complexity Limits in Outage-Limited MIMO

and Cooperative Communications

Habilitation à diriger des recherches, University of Nice, France

Co-Examiner: Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Im Habilitationsverfahren Dr. Hausl gab es Anfang 2012 eine Zwischenevaluierung. Das Mentoriat setzt sich aus den Professoren Hanik, Utschick und Bauch (Universität der Bundeswehr München) zusammen. Die zwei anderen aufgeführten Habilitationsverfahren sind inzwischen abgeschlossen.

Apr. 2011 Dr.-Ing. Dipl.-Wirt-Ing. Stephan Pachnicke

Efficient Design and Dynamic Operation of Fiber Optical Transmission Networks

Habilitationsvortrag an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dortmund (Abschluss des Habilitationsverfahrens: 09/2012)

Externer Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik



5.4 Vorträge im Doktorandenseminar

16.11.2010 **Beril Inan** (LÜT):

Realisierung eines Senders für die optische OFDM-Übertragung bei 100 Gbit/s Kanaldatenrate mit FPGAs

07.12.2010 **Georg Zeitler** (LNT):

Low-Precision Analog-to-Digital Conversion and Mutual Information in Channels with Memory

07.12.2010 Michael Heindlmaier (LNT):

Inter-Session Network Coding via Virtual Multicasts

11.01.2011 **Onurcan İşcan** (LNT):

Network Coded Multi-way Relaying

11.01.2011 **Ulli Brennenstuhl** (LÜT):

OFDM für optische Zugangsnetze

25.01.2011 **Joschi Brauchle** (LNT):

On Efficient Erasure Recovery for Generalized Reed-Solomon Codes

25.01.2011 Elisabeth Georg (LÜT):

Flexibilisierung und Vereinfachung des Kabelbaums im Fahrzeug

01.02.2011 **Oscar Gaete** (LÜT):

Spectrally Efficient Modulation Formats for Optical Systems

01.02.2011 **Mohit Thakur** (LNT):

What is the Optimal Relay Position for Low-SNR Networks?

15.02.2011 **Jie Hou** (LNT):

An Overview of Noisy Network Coding

15.02.2011 **Tobias Lutz** (LNT):

Capacity for Half-Duplex Line Networks with Two Sources

21.12.2011 **Mohit Thakur** (LNT):

Optimal Relay Placement over "Convex" Hypergraphs

21.12.2011 **Georg Zeitler** (LNT):

Bayesian Parameter Estimation using Single-Bit Dithered Quantization

11.01.2012 **Stefan Dierks** (LNT):

Opportunistic Interference Alignment

11.01.2012 **Beril Inan** (LÜT):

Optical OFDM with a Few Mode Fiber

25.01.2012 **Ulli Brennenstuhl** (LÜT):

Einfluss nichtlinearer optischer Effekte auf DD-OFDM Übertragung

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. Etliche Vortragende werden ihr Promotionsverfahren im nächsten Berichtszeitraum bis September 2014 abschließen.



15.02.2012 **Jie Hou** (LNT):

Short Message Noisy Network Coding

15.02.2012 Michael Heindlmaier (LNT):

LDPC Joint Network Channel Codes for Slow Fading Multiple Access Networks

22.02.2012 Hannes Bartz, Joschi Brauchle (LNT):

Erasure Decoding of Gabidulin Codes

07.03.2012 **Markus Stinner** (LNT):

Nonbinary LDPC Codes

07.03.2012 **Onurcan İşcan** (LNT):

Low Complexity Relaying for the Two-way Relay Channel

21.03.2012 **Tobias Lutz** (LNT):

Constrained Coding for Half-Duplex Networks

21.03.2012 Christoph Hausl (LNT):

Quantize-and-Forward Relaying with Iterative Decoding

09.05.2012 Elisabeth Georg (LÜT):

FlexKab – Towards Flexible Wiring Harness

09.05.2012 **Stefan Dierks** (LNT):

The New Typo3 based Institute's Website

30.05.2012 **Markus Stinner** (LNT):

Convolutional LDPC Codes

30.05.2012 **Georg Böcherer** (LNT):

Coded Modulation with Shaping

13.06.2012 **Tobias Lutz** (LNT):

An Information-theoretic View of Horse Races

13.06.2012 **Yingkan Chen** (LÜT):

Next Generation Optical Access Network via OFDM

20.06.2012 Michael Heindlmaier (LNT):

Memoryless Relay Functions for the Two-Way Relay Channel

27.06.2012 **Beril Inan** (LÜT):

Equalizer Complexity of Mode Division Multiplexed Coherent Receivers

27.06.2012 **Jie Hou** (LNT):

Method of Types: An Introduction

11.07.2012 **Tobias Fehenberger** (LÜT):

Mutual Information as Figure of Merit in Optical Communication Systems

11.07.2012 **Onurcan İşcan** (LNT):

Network Coding for Satellite Communication – NEXT Project

18.07.2012 **Joschi Brauchle** (LNT):

Fast Lagrange Interpolation of Linearized Polynomials

18.07.2012 **Hannes Bartz** (LNT):

Erasure-decoding Gabidulin and Subspace Codes

18.07.2012 **Mohit Thakur** (LNT):

Optimal Relay Positioning in Low-SNR Wireless Networks

Überblick über die Forschungsthemen am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Gerhard Kramer

Die Forschung zu unserem Fachgebiet hat sich in den letzten Jahren weltweit weiter entwickelt, zunächst von der Codierung für Punkt-zu-Punkt-Kanäle hin zur Netzcodierung für klassische Leitungsnetze und weiter zur *Multi-user Information Theory*, wobei Netzwerke mit Broadcast, Interferenzen und Relays betrachtet werden. Dementsprechend stand die Informationstheorie und die Codierung für Multi-user-Systeme auch im Mittelpunkt unserer Arbeiten in den beiden letzten Jahren.

Andererseits sind auch Arbeiten zur klassischen Codierungstheorie weiterhin von Bedeutung. Beispielsweise ist die Codierung für Punkt-zu-Punkt-Kanäle weiterhin ein wichtiges Forschungsgebiet, da bei großer Bandbreite und der Anwendung von MIMO-Systemen (*Multi-input Multi-output*) auch lange Codes noch zu einer tolerablen Verzögerung führen. Zu nennen sind hier die LDPC-Codes (*Low-density Parity-check*) aber auch Codes für allgemeine Netzwerktopologien und für verteilte Speichersysteme.

Es gibt aber auch viele Anwendungen der Multi-user Information Theory, z.B. beim Zweiwege-Relay-Kanal. Dieser wurde in einem Projekt mit dem *Deutschen Zentrum für Luftund Raumfahrt* untersucht, das 2012 erfolgreich abgeschlossen wurde.

Wir beschreiben im Folgenden die Arbeitsgebiete, auf denen die Mitarbeiter des LNT aktiv waren. Hannes Bartz beschäftigt sich mit der Netzcodierung für verteilte Speichersysteme und arbeitet sehr eng mit Joschi Brauchle zusammen. Gemeinsam haben sie einen effizienten Erasure-Decodieralgorithmus für die Gabidulin- und Kötter-Kschischang-Codes entworfen und dabei sehr vom Forschungsaufenthalt von Frank Kschischang am LNT profitiert

Tobias Lutz entwirft Timing Codes für Multicast-Netzwerke, und hat hierbei ebenfalls eng mit Frank zusammengearbeitet. Durch diese Codes wird bei einem Half-Duplex-Kanal die mittlere Verzögerung minimiert.

Christoph Hausl arbeitet auf ähnlichem Gebiet. Er betrachtet Funkkanäle mit Turbo-Decoder, der Soft Information auswertet, um die Rate und den Energiebedarf zu verbessern. Zudem bearbeitete er gemeinsam mit Onurcan İşcan das NEXT-Projekt der DLR. Onur untersuchte zusammen mit dem MSCE-Studenten Xiaohang Song die Netzcodierung für einen Broadcast-Kanal mit Rückkanal, und sie konnten zeigen, dass durch die Kombination von Netzcodierung und Soft Decision die Kapazitätsregion vergrößert wird. Es gilt also auch hier "Soft is Better than Hard".

Einige Doktoranden befasssen sich mit Relaying. So entwickelt und analysiert *Ronald Böhnke* einfache Relaisstrategien unter Verwendung gedächtnisloser nichtlinearer Relaisfunktionen, die gegenüber der klas-

sischen linearen Methode zu einem SNR-Gewinn führen. *Michael Heindlmaier* studiert verschiedene Methoden für den Zweiwege-Relay-Kanal, z.B. die Quantize-Forward-Strategie. Er konnte zeigen, dass man durch Quantisiereroptimierung mehrere dB gewinnen kann.

Jie Hou and Mohit Thakur untersuchen große Relaisnetzwerke. Jie konzentriert sich auf Noisy Network Coding, anwendbar auf drahtlose und leitungsgebundene Netze. Dagegen betrachtet Mohit die bestmögliche Relaisplatzierung bei Kanälen mit geringem SNR. Er entwickelte hierfür mehrere geometrische, grafikbasierte Verfahren.

Markus Stinner untersucht in einem Industrieprojekt mit Alcatel-Lucent (Bell Labs) Convolutional Low-Density Parity-Check (CLDPC) Codes, für die er bei einem Auslandsaufenthalt in Frankreich Skalierungsgesetze erarbeitet hat. In einem Projekt mit Nokia Siemens Networks behandelt Stefan Dierks das Thema Interference Alignment und hat schon einige vielversprechende Methoden für reale Systeme analysiert.

Zu erwähnen sind schließlich noch unsere beiden Postdocs. Georg Böcherer beschäftigt sich mit Quellencodierverfahren und Probabilistic Shaping und profitiert dabei von seiner Erfahrung durch seine Promotion an der RWTH Aachen. Stefano Rini behandelt biologische Fragestellun-



gen, z. B. zur Kompression von DNA-Sequenzen und zum Thema *Neural Spike Trains*.

Information theory and coding for multi-user systems has been the main focus of our research during the past two years. This focus mirrors the work being done internationally where there has been a natural progression from coding and turbo processsing for point-to-point channels, to network coding for classic wireline networks, and finally to multiuser information theory for networks with broadcast, interference, and relays. This does not mean that research on the basic topics has lost its value. For example, coding for point-to-point channels remains an important topic because large bandwidth and the use of multi-input, multi-output (MIMO) devices lets longer codes be used for the same delay. As a result, convolutional structures for low-density parity-check codes are acceptable, e.g., for fiberoptic channels. Similarly, network codes are being developed for general network topologies and they are being considered for distributed storage.

Much work remains to be done on multi-user information theory. The LNT has been particularly active on two-way relay channels, in part because of a common project with the *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR) that was completed in 2012. We next describe these and other projects that the LNT has been involved with.

Georg Zeitler completed his Dr. Ing. studies in early 2012 (see p. 37) on the topic of low-resolution quanitizer design. Most of Georg's work was done before 2011, but during his last year he came up with new algo-

rithms for parameter estimation with dithered quantizers that outperform existing algorithms. This research became the final chapter of his thesis.

Hannes Bartz is interested in network coding for distributed storage (p. 43). He worked on network coding for his Diploma thesis already, and so he had a good head-start. He has been working closely with Joschi Brauchle (p. 46), and the two of them have combined their expertise to design efficient erasure decoding algorithms for Gabidulin and Kötter-Kschischang codes. They have been fortunate to have Professor Frank Kschischang visit during 2011, with whom they could discuss ideas and receive feedback.

Frank also collaborated on a short paper with *Tobias Lutz* (p. 52) on timing codes for multicast networks. The two of them realized that constrained codes let one transmit information in the delays of symbols, and not only in the choice of the symbols themselves.

Christoph Hausl (p. 48) worked on a similar topic, but he considered wireless channels where a turbo decoder collects soft information to improve the rate and energy consumption of devices. Christoph also worked on the NEXT (Network Coding Satellite Experiment) project for DLR, together with Onurcan İşcan (p. 51).

In 2011, Onur became interested in network coding for broadcast channels with feedback. Together with a MSCE student, Xiaohang Song, he showed that combining the advantages of network coding and soft decisions enlarges the capacity region. The theme "soft is better than hard" has, of course, a distinguished history at our institute.

As mentioned, several doctoral candidates are working on relaying. *Ronald Böhnke* (p. 45) developed and analyzed strategies that use a memoryless but non-linear relaying function. Remarkably, such devices exhibit substantial gains in signal-tonoise ratio (SNR) as compared to linear amplify-forward (AF) schemes.

Michael Heindlmaier (p. 49) studied various methods for two-way relay channels, with a special focus on a quantize-forward (QF) strategy. He

showed that optimizing the quantizer can reduce energy consumption by many decibels.

Jie Hou (p. 50) and Mohit Thakur (p. 55) worked on large relay networks. Jie's work was on noisy network coding (NNC) that generalizes network coding from wireline to wireless networks. He showed that a modification at the source encoder, which he calls SNNC (Short Message NCC), achieves the same rates as NNC and further enables the relays to use de-code-forward (DF). Mohit's work concentrates on the low-SNR regime and relay placement. He developed a variety of geometric graph-based methods to determine characteristics of the optimal placement. He is currently extending this work to include network coding.

Stefano Rini (p. 53) is completing his postdoc at TUM and Stanford. He has actively engaged students and developed new skills on biology problems. For example, he invented algorithms that compress DNA sequences at much better rates than the best known algorithms, and he has been developing theory for neural spike trains.

Georg Böcherer (p. 44) began as a postdoc with us in 2012 after completing his Dr. Ing. studies in Aachen. He brings a deep expertise on probabilistic shaping, as well as source coding methods. Georg served as teaching assistant for Dr. Gottfried Ungerböck who taught a course for our MSCE program in 2012. As a result, Georg is now not only a shaping expert, but also a coded modulation expert.

Markus Stinner (p. 54) joined us in 2011 and has been working on an industry project with Alcatel-Lucent (Bell Labs) in Stuttgart. He is working on scaling laws for convolutional low-density parity-check (CLDPC) codes with Iryna Andriyanova.

Stefan Dierks (p. 47) has also been working on an Industry project, but with Nokia Siemens Networks and on the topic of interference alignment. Stefan came up with relatively simple interference alignment methods that promise to be useful in real systems, and he has analyzed various optimization methods in great detail.

Network and Erasure Coding for Distributed Storage

Hannes Bartz

Die Menge aller im Internet gespeicherten Daten wächst stetig an. Die sogenannten *Cloud Storage Systeme* erlauben es, Daten von verschiedenen Endgeräten aus über das Internet abzurufen. Um die Datensicherheit zu gewährleisten, werden Dateiblöcke auf verschiedene Speicherknoten verteilt und diese dann repliziert.

Dieses Prinzip garantiert zwar auf lange Sicht die Sicherheit der Daten, ist aber nicht speichereffizient. Fehlerkorrigierende Codes, wie sie z.B. auf Audio-CDs verwendet werden, sind dagegen sehr effizient, erhöhen aber die Systemkomplexität. Neue auf Netzcodierung basierende Codierungsstrategien versprechen dagegen eine höhere Speichereffizienz bei geringerer Komplexität.

Neben der benötigten Bandbreite zur Wiederherstellung eines Knotens ist unter anderem auch die Anzahl der Festplattenzugriffe ein wichtiger Parameter des Codedesigns.

The tremendous amount of data stored in cloud systems requires resilient coding strategies for Distributed Storage Networks (DSN). Instead of storing data in one place, files are split and spread among several distributed storage nodes to prevent data loss. Up to now, replication is the common approach to ensure reliability in case of disk or storage node failures, which is a common scenario in DSNs. More sophisticated coding strategies like Maximum Distance Separable (MDS) codes allow a better storagereliability tradeoff at the cost of more computational complexity and a higher repair bandwidth to recover a node.

The repair problem (recovery of a failed node) can be interpreted as a multicast problem for which network codes are capacity achieving. Thus, a combination of error- and erasure correcting codes and network codes seems to be a promising approach to reduce the repair complexity.

In fact, recent results show that network coding and interference alignment schemes allow to further reduce the amount of data needed to repair failed nodes [1][2]. However, practical code constructions with rates higher than 1/2 are not yet known.

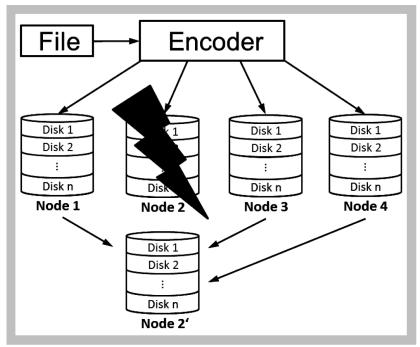
For some scenarios, the network that connects the storage nodes might be unknown or erroneous. An adaptation of error- and erasure correcting network codes as proposed by R. Kötter and F. Kschischang appears to be a suitable approach for this problem. These so called subspace codes are a lifted version of *Maximun Rank Distance* (MRD) codes and allow mapping a set of data symbols on a subspace. Since the operations performed using network coding are linear, these subspaces are preserved.

A second important issue in distributed storage networks is the time needed to repair a failed node. Thus, fast algorithms for decoding Reed-Solomon, Gabidulin and subspace codes are needed.

Our current work focuses on fast Gabidulin encoders and decoders, based on schemes for generalized Reed-Solomon codes [3]. The main component of this decoder is an efficient Lagrange interpolation algo6 Arbeitsgebiete

rithm for the special class of linearized polynomials. Beside the recovery of failed nodes, there are many other interesting challenges like security, update complexity and optimizing disk I/O that are crucial if coding is used instead of replication.

- [1] Dimakis, A.G.; Godfrey, P. G.; Wu, Y.; Wainwright, J.; Ramchandran, K.: Network Coding for Distributed Storage Systems. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 56, no. 9, Sept. 2010
- [2] Rashmi, K.; Shah, N.B.; Kumar, P. V.: Optimal Exact-regenerating Codes for Distributed Storage at the MSR and MBR Points via a Product-matrix Construction. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 8, Aug. 2011
- [3] Brauchle, J.: On Efficient Recovery of Erased Symbols in Generalized Reed-Solomon Codes. In: *Proc. IEEE Int. Conf. Communications* (ICC), June 2011



A distributed storage network with four nodes with each node consisting of n disks.

In digitalen Kommunikationssystemen werden in der Regel die Kanaleingangssymbole mit der gleichen Häufigkeit verwendet. Die Informationstheorie zeigt jedoch, dass man mit nicht-gleichverteilten Eingangssymbolen Daten mit einer höheren Rate zuverlässig übertragen könnte. In [1] wurde gezeigt, dass man auch mit praktischen Verfahren kapazitätserreichende Verteilungen erzeugen kann. Das Ziel ist nun, diese Verfahren mit Fehlerkorrektur zu verknüpfere

Man geht wie folgt vor: Zunächst wird die kapazitätserreichende Verteilung berechnet. Daraufhin wird aus einer Familie praktisch erzeugbarer Verteilungen diejenige ausgewählt, welche die optimale Verteilung am besten approximiert. Im letzten Schritt werden die Symbole gemäß der erzeugten Verteilung mit einem fehlerkorrigierenden Code codiert. Hierfür bieten sich besonders systematische Codes an, da sie die Verteilung der Informationssymbole unverändert lassen.

Der systematische Code erzeugt zusätzliche Checksymbole, welche annähernd gleichverteilt sind. Die zu übertragenden Kanaleingangssymbole werden entsprechend den Informations- und den Checksymbolen ausgewählt.

Probabilistic Shaping and Coded Modulation

Georg Böcherer

The key step in calculating the capacity of a communication channel is to determine the capacity-achieving input distribution. Unequal transition probabilities between input and output symbols, input power constraints, or input symbols of unequal durations can lead to non-uniform capacity-achieving input distributions [1]. However, in practical digital communication systems, uniform input distributions are used almost exclusively. This leads, first, to an unsatisfactory discrepancy between theory and practice and, second, to reduced achievable rates for reliable communication.

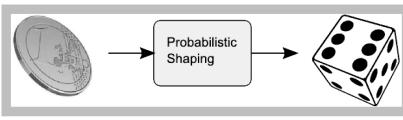
In [1] practical methods were suggested that allow to generate practical and close-to-capacity-achieving input distributions. The methods use the following three steps [1]:

- Calculate the capacity-achieving distribution. For some channels, this task involves in solving a convex optimization problem. However, there are practically relevant channels where a nonconvex optimization problem needs to be solved [2].
- Approximate the capacity-achieving input distribution. Several techniques to accomplish this are suggested in literature, e.g. non-uniform mappings in [3], [4]. Variable-length-to-fixed-length mappings were proposed in [5] and theoretically investigated in [1]. Recently, the polarization phenomenon was used for probabilistic shaping [6].

- Combine probabilistic shaping with forward error correction. A prominent example from the literature is trellis shaping [7]. An approach currently under investigation is to seperate probabilistic shaping and error correction by using systematic encoders and by exploring the symmetries in capacity achieving input distributions [8]. This approach also works with "modern" error correction such as LDPC codes.

Literature:

- [1] Böcherer, G.: Capacity-achieving Probabilistic Shaping for Noisy and Noiseless Channels. Dissertation (PhD), RWTH Aachen, Online: http:// darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/ volltexte/2012/4097/pdf/4097.pdf, 2012
- [2] Böcherer, G.; Altenbach, F.; Alvarado, A.; Corroy, S.; Mathar, R.: An Efficient Algorithm to Calculate BICM Capacity. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT), Boston, July 2012
- [3] Gallager, R. G.: Information Theory and Reliable Communication. *John Wiley & Sons Inc.*, 1968
- [4] Böcherer, G.: Optimal Non-Uniform Mapping for Probabilistic Shaping. Submitted to: 9. Int. Conf. System, Comm. and Coding. Online: http:// arxiv.org/abs/1208.1116, Jan. 2013
- [5] Forney Jr., G. D.; Gallager, R. G.; Lang, G.; Longstaff, F.; Qureshi, S.: Efficient Modulation for Band-limited Channels. In: *IEEE Journ. Selected Areas in Communications*, vol. 2, no. 5, pp. 632–647, 1984
- [6] Sutter, D.; Renes, J. M.; Dupuis, F.; Renner, R.: Achieving the Capacity of any DMC using only Polar Codes. In: *Proc. of CoRR*, *Online: arxiv. org/abs/1205.3756*, 2012
- [7] Forney Jr., G. D.: Trellis Shaping. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 38, no. 2, pp. 281–300, 1992
- [8] Böcherer, G.: Capacity-achieving Probabilistic Shaping. Talk at Bell Labs Germany, Alcatel Lucent Stuttgart, www.georg-boecherer.de/caps2. pdf, May 2012



An example of probabilistic shaping. The objective is to approximate the outcome of a fair die by applying a deterministic mapping to the outcome of a fair coin. The input of the shaper is a sequence of binary random variables that are independent and uniformly distributed over {head,tail}. The output resembles a sequence of independent random variables that are independent and uniformly distributed over {1,2,3,4,5,6}.

Instantaneous Relaying for the Two-Way Relay Channel

Ronald Böhnke

Die in der Satellitenkommunikation verwendeten Transponder setzen das Empfangssignal lediglich auf eine andere Frequenz um und verstärken es. Bei bidirektionaler Übertragung werden die einzelnen Verbindungen in Zeit oder Frequenz getrennt. Die Hälfte der Ressourcen lässt sich jedoch einsparen, wenn beide Stationen gleichzeitig senden und nur die Überlagerung der Signale weitergeleitet wird, da die durch das eigene Signal verursachte Interferenz am Empfänger beseitigt werden kann. Die Effizienz kann durch einen Transponder mit nichtlinearer Kennlinie weiter erhöht werden [1]. Die Optimierung dieser Funktion für unterschiedliche Kanäle ist Ziel unserer Forschung.

Consider two nodes that exchange information with the help of a relay, e.g. in satellite communications. A conventional transponder at the satellite simply transmits the received signal at a different frequency, which is also referred to as amplify & forward (AF). More sophisticated schemes like decode & forward (DF) or compress & forward (CF) introduce additional delays and are in general not feasible due to limited memory and processing power on the satellite. However, the performance can also be improved by applying a memoryless nonlinear function to the receive samples at the relay. For example, estimate & forward (EF) calculates the conditional mean of the source symbols and is close to optimal in many situations.

The individual links to and from the relay are usually separated by using different carrier frequencies or time slots. Since wireless devices are typically constrained to operate in half-duplex mode, bidirectional communication requires in total four orthogonal resources. On the other hand, it suffices if the relay forwards a noisy superposition of the transmitted codewords, as the nodes can cancel self-interference based on the knowledge of their own transmit sig-

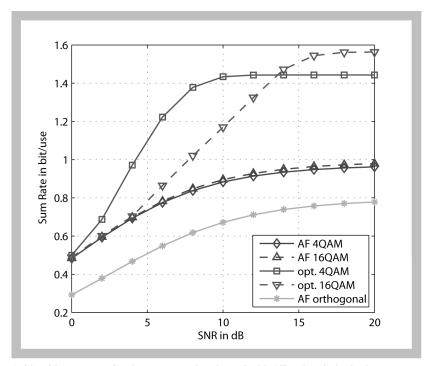
nals. That way, only half of the resources are needed, which potentially doubles the spectral efficiency. Such an approach was proposed in [1] as noisy analog network coding, and it was shown to achieve the capacity of the Gaussian two-way relay channel for a noiseless uplink. The optimization of the relay function with respect to the sum data rate is a non-convex problem that depends on the SNR as well as the employed symbol alphabets [2].

The figure shows an example of the achievable sum rate with AF and optimized functions for different quadrature amplitude modulation (QAM) constellations. The SNR in the downlink is fixed at 3dB. AF with self-interference cancellation gains approximately 0.2 bit/use compared to the conventional case with orthogonal links. An optimized relay function yields significantly higher rates at medium to high uplink SNRs. Note that 4QAM outperforms 16QAM over a wide SNR range for the considered scenario.



Up to now, the relay function has only been optimized assuming ideal synchronization. The impact of carrier phase or symbol timing errors still needs to be analyzed. Furthermore, simple heuristics for the choice of the relay functions and the input distributions shall be developed. Another direction for future research is the extension to multiple antennas at the relay.

- [1] Khormuji, M.; Skoglund, M.: Noisy Analog Network Coding for the Two-Way Relay Channel. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, Aug. 2011
- [2] Heindlmaier, M.; İşcan, O.; Böhnke, R.; Hausl, C.: On Optimized Memoryless Relaying Functions for the Two-Way Relay Channel. In: Proc. Int. Symp. Wireless Communication Systems, Aug. 2012



Achievable sum rates for the two-way relay channel with AF and optimized relay functions. The uplink SNRs are varied while the downlink SNRs are fixed at 3dB. AF with orthogonal links and Gaussian inputs is shown for comparison.

Reed-Solomon (RS) Codes zählen seit über einem halben Jahrhundert zu den am häufigsten verwendeten Fehlerkorrekturverfahren. Sie werden auch heutzutage vielfach in modernen Kommunikationssystemen und Standards eingesetzt, beispielsweise zur Wiederherstellung von Auslöschungen bei sog. Multimedia Multicast Übertragungsverfahren wie DVB-H/SH oder ATSC-M/H sowie bei fehlertoleranter und verteilter Datenspeicherung. Basierend auf unserer bisherigen Arbeit [1] wurde ein sehr effizienter Algorithmus zur Rekonstruktion von Auslöschungen für verallgemeinerte RS-Codes [2] entworfen. Dieser Algorithmus soll in einem weiteren Schritt auf die verwandte Klasse von Gabidulin-Codes [3] angepasst werden, die vermehrt bei verteilter Datenspeicherung ihre Anwendung findet.

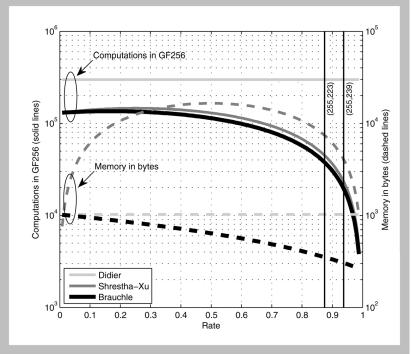
Efficient Erasure Decoding for Reed-Solomon Codes

Joschi Brauchle

More than half a century after their invention by Irving Reed and Gus Solomon in the year 1960, Reed-Solomon (RS) codes are still being used in many modern communication systems and standards. In the last decade, joining their countless applications in lower layer FEC coding, most notable in deep space communications of NASA and ESA space exploration missions, magnetic and optical storage systems like hard-disks and CDs/DVDs/Blue-rays and digital broadcasting systems like DVB, they are also being widely applied in higher layer applications to provide strong protection against packet loss. Some of these new applications include multimedia multicast communications, e.g. in DVB-H/SH and ATSC M/H, as well as fault tolerant distributed storage systems like Cluster-RAID deployed at the CERN Large Hadron Collider (LHC) or distributed file systems like Apache Hadoop used at Facebook.

We extended our previous work on systematic encoding of RS codes [1] and developed a very computationally and memory efficient algorithm for recovering erased symbols in generalized RS codes. The new method [2] is based on evaluating polynomials over finite fields and making use of Barycentric interpolation, which helps in significantly reducing both computational complexity and memory requirements while allowing for fast parallel decoding. Compared with other existing matrix based (Shrestha-Xu '07) or transform based (Didier '09) erasure decoding algorithms (with possibly better asymptotic complexity), our algorithm needs the least amount of memory and a very low number of operations for practical field sizes and code rates, e.g. the (255, 223) and (255, 239) RS code over GF(256) illustrated by the figure below.

We are working on adapting our method to the closely related class of Gabidulin codes [3] which can be applied in network coding and distributed storage. This class of codes is based on so-called linearized polynomials where only non-commutative operations of reasonable complexity are available. Unfortunately, Barycentric interpolation cannot be applied to this class of polynomials, requiring a new and efficient linearized Lagrange interpolation scheme. A recursive divide and conquer approach promises to provide improved complexity compared to existing algorithms.



Comparison of computational complexity in operations over GF256 and memory requirement in bytes for several Reed-Solomon grasure decoding algorithms.

- [1] Brauchle, J.; Kötter, R.: A Systematic Reed–Solomon Encoder with Arbitrary Parity Positions. In: *Proc. of* 52nd Global Telecommunications Conf. (Globecom), Dec. 2009
- [2] Brauchle, J.: On Efficient Recovery of Erased Symbols in Generalized Reed-Solomon Codes. In: *Proc of Int. Conf. on Communications (ICC)*, Tokio, Japan, June 2011
- [3] Gabidulin, E. M.: Theory of Codes with Maximum Rank Distance. In: *Problems of Information Transmission*, vol. 21, no. 1, pp. 1–12, 1985

Interference-Limited Systems

Stefan Dierks

Interference Alignment ermöglicht im Vergleich zu konventionellen Methoden, wie z.B. Orthogonalisierung oder die Behandlung von Interferenz als zusätzliches Rauschen, einen höheren Datendurchsatz in interferenzbegrenzten Netzwerken. In [1] wird gezeigt, dass man für zeitlich variierende Interferenzkanäle mit K Nutzern K/2 Degrees of Freedom (DoF) erreichen kann. Hierbei ist DoF definiert als das Verhältnis der Summenrate zum Logarithmus der Gesamtleistung für den Bereich hoher Leistung. Hingegen lässt sich mit Orthogonalisierung nur ein DoF erreichen.

Bei IA wird durch Vorcodierung am Sender erreicht, dass an jedem Empfänger die unerwünschten Signale im gleichen Unterraum liegen. Somit verbleibt der restliche Unterraum für nun interferenzfreie Kommunikation. Erlaubt man hingegen Kooperation zwischen den Sendern oder Empfängern (CoMP), so können sogar *K* DoF erreicht werden.

Interference Alignment (IA) achieves higher throughput in interference limited networks as compared to conventional methods like orthogonalization or treating interference as noise. In [1] it is shown that the *K* user timevarying interference channel has *K*/2 degrees of freedom almost surely, where the degrees of freedom is the ratio of the sum-rate of the system to the logarithm of the total power in the high power regime. With orthogonalization only one degree of freedom is achievable.

Linear IA means to pre-code the signals at the transmitters so that at each receiver the undesired signals from the transmitters are aligned in the same subspace, which leaves the remaining subspace for interference-free communication. In other words, at each receiver the interference signals are linearly independent of the useful signals, which means that the useful signal can be retrieved by using an adequate receive beamform-

ing filter. The signaling dimensions over which the interference can be aligned are, e.g. the IQ-constellation, time, space (multiple antennas) and frequency (multiple carriers).

For channels with diagonal matrices, which occur for example with OFDM, it seems that the *K*/2 degrees of freedom can be achieved only asymptotically in the number of signaling dimensions [1]. Under certain conditions, however, *K*/2 degrees of freedom can be achieved exactly using only a finite and small number of signalling dimensions. Investigating and specifying these conditions is one of our research goals.

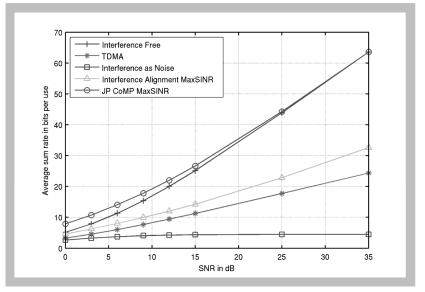
Another research goal is to compare the performance (IA) with coordinated multipoint (CoMP) transmission schemes, which allows to achieve *K* degrees of freedom by allowing either the transmitters or the receivers to cooperate. Cooperation is therefore very useful but it would mean greatly increased backhaul bandwidth requirements.

Both IA and CoMP require knowledge of channel state of the complete network. Imperfect channel state information leads to a performance degradation [3]. Quantifying the performance of

6 Arbeitsgebiete

mance loss for different methods of obtaining channel state information and the impact of choosing their parameters, like the number of feedback bits, are a further interesting research aspect.

- [1] Cadambe, V. R.; Jafar, S.A.: Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp. 3425-3441, Aug. 2008
- [2] Gomadam, K.; Cadambe, V. R.; Jafar, S. A.: A Distributed Numerical Approach to Interference Alignment and Applications to Wireless Interference Networks In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 6, pp. 3309-3322, June 2011
- [3] Zetterberg, P.; Moghadam, N. N.: An Experimental Investigation of SIMO, MIMO, Interference-alignment (IA) and Coordinated Multi-point (CoMP). In: IEEE Systems, Signals and Image Processing, pp. 211-216, Apr. 2012



Average sum rate for an interference channel consisting of three transmitter-receiver pairs, where each node is equipped with two antennas and one stream is transmitted between each pair. The pre-coding and receiver beamforming vectors are obtained using the MaxSINR algorithm described in [2].



Half-duplex relays play an important role in practical applications due to their low costs and small size. Normally, it is determined a priori whether the half-duplex relay is in the receive- or in the transmit-mode. It was shown in [1] that the data rate can be increased when the relaymode depends on the data. In [2], we proposed an approach that improves distributed turbo coding with a data-dependent relay mode.

In future work we want to consider strategies that require less coordination between source and relay [3]. Moreover, the influence of a nonideal symbol-clock synchronization at the relay should be considered.

In drahtlosen Funknetzen wird die Kommunikation von Quelle zu Senke oft durch ein Relais unterstützt, das halbduplex beschränkt ist. Darunter versteht man, dass das Relais nicht gleichzeitig im gleichen Frequenzband senden und empfangen kann. Halbduplex-Stationen haben große Bedeutung in vielen praktischen Anwendungen, unter anderem deshalb, weil sie günstig und klein produziert werden können.

Halbduplex beschränkte Relaiskommunikation mit datenabhängigem Zeitmultiplex

Christoph Hausl

Klassischerweise wird ein halbduplex beschränktes Relais in einem fixen Zeit- oder Frequenzmultiplex betrieben. Zum Beispiel kann das Relais immer die ersten zehn Symbole eines Rahmens mit 20 Symbolen nutzen, um zu empfangen, und die zweiten zehn Symbole, um zu senden

In [1] wurde erstmals gezeigt, dass ein solcher Ansatz mit fixem Zeitmultiplex das Halbduplex-Relais nicht optimal ausnützt, und dass die Datenrate erhöht werden kann, wenn in Abhängigkeit der zu übertragenden Daten bestimmt wird, welche Symbole das Relais zum Empfangen und welche zum Senden benutzt. Beim vorigen Beispiel gibt es "10 aus 20" = 184.756 mögliche Sende- und Empfangsreihenfolgen, wodurch 17 Bit codiert werden können.

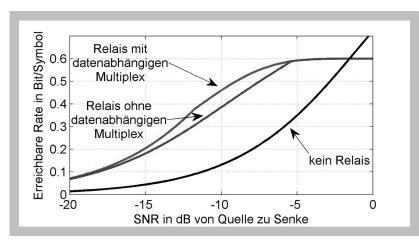
Die informationstheoretische Arbeit in [1] wurde am LNT in [2] erweitert. Der Entwurf zeigt, wie man eine Relaiskommunikation mit einem verteilten Turbo-Code um ein datenabhängiges Zeitmultiplex erweitern kann. Dabei generiert die Quelle per Turbo-Code genügend Codebits, so dass das Relais zuverlässig decodieren kann. Anschließend versendet das Relais zusätzliche Codebits, so dass auch die Senke decodieren kann. In dem in [2] vorgeschlagenen Ansatz werden weitere zusätzliche Codebits übertragen, die die Sende-/Emp-

fangsreihenfolge des nächsten Rahmens bestimmen und an der Senke anhand der empfangenen Signalstärke detektiert werden können. Die Abbildung vergleicht die erreichbare Rate, wobei alle Systeme die gleiche Anzahl an Kanalbenutzungen aufweisen. Es wird angenommen, dass das Relais 60% der Gesamtzeit zuhört und 40% zum Senden benutzt. Aufgrund der angenommenen Topologie sind die Kanäle von Quelle zu Relais und von Relais zu Senke um 10.6 dB besser als der Kanal von Quelle zu Senke.

In weiteren Arbeitsschritten sollen nun Methoden untersucht werden, die weniger Koordination zwischen Quelle und Relais benötigen. Ein erster Ansatz hierzu wurde in [3] vorgeschlagen. Dieser hat den Vorteil, dass die Resynchronisation des Zeitmultiplex nach einem Decodierfehler am Relais keinen Rückkanal vom Relais zur Quelle benötigt.

Derzeit werden die Anforderungen an ein System mit datenabhängigem Zeitmultiplex untersucht, wobei das Modell auch Ungenauigkeiten der Symboltakt-Synchronisation am Relais beinhaltet. Hier spielt die Wahl des Sendeimpulses eine große Rolle, da dieser der Interferenzstärke des Relais-Sendesignals auf das Relais-Empfangssignal bestimmt.

- [1] Kramer, G.: Models and Theory for Relay Channels with Receive Constraints. – In: *Proc. Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, Sept. 2004
- [2] Hausl, C.; Lutz, T.; Kötter, R.: Distributed Turbo Coding with Information Transfer via Timing of the Half-Duplex Relay-Phases. In: Proc. International Conf. on Communications (ICC), Dresden, Juni 2009
- [3] Lutz, T.; Kramer, G.; Hausl, C.: Capacity for Half-Duplex Line Networks with Two Sources. In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory* (ISIT 2010), *Austin, TX, USA*, Juni 2010



Vergleich der erreichbaren Rate.

Two-Way Relaying with Quantization at the Relay

Michael Heindlmaier

Der Zwei-Wege-Relay-Kanal ist ein passendes Modell für viele Kommunikationsszenarien, besonders in der Satellitenkommunikation. Um die Komplexität des Relays moderat zu halten, sind solche Strategien interessant, die keine Decodierung am Relay erfordern. Vielversprechende Ratenregionen werden durch Strategien erreicht, die am Relay das Empfangssignal quantisieren anstatt zu decodieren. Die Optimierung und praktikable Umsetzung dieses Verfahrens ist Ziel unserer Forschungsarbeiten.

Der Artikel behandelt die Optimierung der Quantisierung am Relay hinsichtlich maximaler Datenrate. Dazu müssen geeignete Verteilungen für den Relay-Quantisierer gefunden und mittels Vektor- oder Skalarquantisierer angenähert werden. Zudem sind optimierte Codes notwendig, um die theoretischen Grenzen zu erreichen. Die Grafik vergleicht verschiedene erreichbare Raten.

The two-way relay channel (TWRC) incorporates challenging problems such as multiple access, broadcast and coding with side information. It is a suitable model for many applications where two users exchange messages with the help of one relay, such as satellite communication.

To keep the relay complexity at a moderate level, schemes that do not require decoding at the relay are atractive. In particular we focus on Quantize & Forward schemes. Different achievable schemes have been proposed [1] that exploit recent results on broadcasting with side information [2] and joint decoding [3], [4]. The proofs for these schemes have several implications on the realization and the code design.

Quantizer Optimization

The quantizer at the relay should be designed to maximize the rates of reliable communication. This requires finding good distributions for the relay quantization index; a problem for

which one can often find only local -ly optimal solutions. The quantizer then has to be designed to approximate the optimized distribution. One approach requires vector quantizers at the relay. A more practical approach is to use a scalar quantizer.

Code Design and Optimization

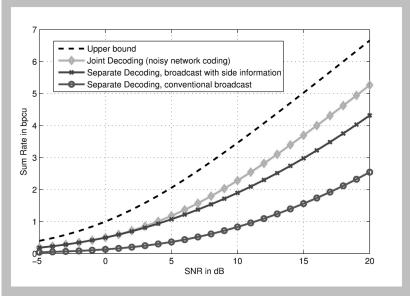
The schemes in [2] [3] require reliable decoding of the quantization index at both destinations. This quantization index is then used to decode the outer channel code. Although this two-stage decoding is suboptimal, it simplifies the operations at the destinations and the design of the codes. Still, these schemes require joint source-channel codes for the broadcast phase which have to be optimized to give satisfactory results.

Reliably decoding of the quantization index is not required by schemes employing joint decoding [3], [4]. Such decoding can be performed on a factor graph that takes into account the whole structure of the communication system. As shown in the figure below, this scheme achieves higher rates for AWGN channels and Gaussian input distributions. Designing efficient codes, however, is a chal-



lenging problem and a focus of our ongoing research.

- [1] Rankov, B.; Wittneben, A.; Achievable Rate Regions for the Two-way Relay Channel. In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 1668–1672, July 2006
- [2] Schnurr, C.; Oechtering, T.J.; Stanczak, S.: Achievable Rates for the Restricted Half-Duplex Two-Way Relay Channel. In: Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, pp. 1468–1472, Nov. 2007
- [3] Schnurr, C.; Stanczak, S.; Oechtering, T.J.: Coding Theorems for the Restricted Half-duplex Two-way Relay Channel with Joint Decoding. In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 2688–2692, July 2008
- [4] Lim, S.H.; Kim, Y. H.; El Gamal, A.; Chung, S. Y.: Noisy Network Coding. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 5, pp. 3132–3152, May 2012



Achievable sum-rates for the two-relay relay channel. The SNRs γ between the nodes have the following relations: $\gamma_{R1} = \gamma_{R2} + 7$ dB, $\gamma_{2R} = \gamma_{1R} + 15$ dB.

In [1] wurde vor kurzem mit Noisy *Network Coding* (NNC) ein neues Codierschema für die Kommunikation über rauschbehaftete Kanäle vorgeschlagen und eine untere Schranke für die Kapazität hergeleitet. Allerdings wurde hierbei mit sehr langen Nachrichten codiert, was Decode-Forward (DF) an den Relaisknoten behindert. Wir konnten zeigen, dass Codierung mit kürzeren Nachrichten die gleiche Rate wie NNC erreichen kann und zudem DF für die Relais ermöglicht [2]. Damit ist eine gemischte Strategie von DF und Short Message Noisy Network Coding möglich, was höhere Raten verspricht.

Noisy Network Coding (NNC) is a method for communicating over noisy networks developed in [1]. NNC uses long message repetitive coding, which inhibits decode-forward (DF) at relay nodes even if the chan-

Coding over Noisy Networks

Jie Hou

nel condition happens to be good. For example, if one relay is close to the source and has a strong source-relay link, the natural operation is DF which removes the noise at the relay. But this is generally not possible with a long message because of its high rate.

We have developed a variant of NNC called *Short Message Noisy Network Coding* (SNNC) that gives the same rates as NNC [2][3][4]. SNNC has:

- Sources transmit independent short messages in every block.
- Relays quantize and re-encode (quantize-forward or QF).
- Destinations decode with backward decoding or joint decoding.

SNNC is shown to achieve the same rates as NNC for general Discrete Memoryless Networks (DMNs) with multiple multicast sessions. However, SNNC seems to have extra constraints that do not appear for NNC. We show that these constraints are redundant by using the same approach as in [3].

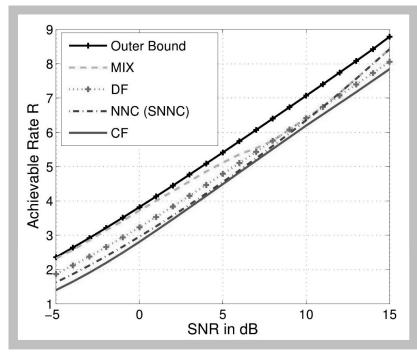
By encoding with short messages, SNNC enables early decoding at

nodes when the channel conditions happen to be good, which is generally not possible with NNC. This leads to mixed strategies of DF and SNNC, where the nodes use DF if they can decode and perform QF if they fail to decode. Mixed strategies unify the advantages of both DF and SNNC and are useful for rapidly changing channels, e.g. fading environments.

We demonstrate through numerical examples on Gaussian two-relay channels that mixed strategies (with SNNC) outperform existing coding schemes such as decode-forward (DF), compress-forward (CF) or NNC. The figure depicts the achievable rate for various coding schemes on the tworelay channel, where source node 1 wishes to send a message to sink node 4 assisted by relay nodes 2 and 3. We denote the distance between two nodes, i, j by d_{ii} . The simulation is done with $d_{12} = 0.2$, $d_{13} = 0.8$, $d_{14} = 1$, $d_{23} = d_{32} = 0.75$, $d_{24} = 0.8$, $d_{34} = 0.2$ and a path-loss exponent $\alpha = 3$. All noise variances are assumed to be 1 and all nodes transmit with same power P. The signal to noise ratio (SNR) is therefore P. Observe that the mixed strategies unify the advantages of both DF and SNNC, and achieve higher rates than DF, CF and NNC.



- [1] Lim, S.H.; Kim, Y.-H.; El Gamal, A.; Chung, S.-Y.: Noisy Network Coding. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no.5, pp. 3132 -3152, May 2012
- [2] Kramer, G.; Hou, J.: Short-Message Quantize-Forward Network Coding. In: Proc. 8th International Workshop on Multi-Carrier Systems Solutions, Herrsching, Germany, May 2011
- [3] Kramer, G.; Hou, J.: On Message Lengths for Noisy Network Coding. In: *IEEE Information Theory Work-shop*, Paraty, Brazil, Oct. 2011
- [4] Wu, X.; Xie, L. L.: On the Optimal Compressions in the Compress-andforward Relay Schemes. Submitted to *IEEE Trans. Inf. Theory*, Feb. 2011



Achievable rates on the two-relay channel. All noise variables are Gaussian and have zero mean and unit variance.

Network Coding for the Broadcast Channel with Feedback

Onurcan İşcan

Studien zum Broadcast-Kanal haben gezeigt, dass man die Kapazitätsregion bei einem Auslöschungskanal (Packet Erasure Channel) durch Feedback vergrößern kann. In [1] und [2] wurde ein Algorithmus vorgeschlagen, der diese Kapazitätsregion erreichen kann. Basierend auf ACK/ NAK-Feedback überträgt dabei der Sender netzwerkcodierte Pakete. Die Empfänger decodieren diese Pakete mit Hilfe der zuvor erfolgreich decodierten Pakete, und die netzwerkcodierten Pakete bieten gleichzeitig für unterschiedliche Benutzer verschiedene Informationen und erhöhen somit die Rate.

Aufgrund des PEC-Kanalmodells können allerdings nur erfolgreich empfangene Pakete verwendet werden, um Netzwerkdecodierung durchzuführen. In unserer Arbeit haben wir das Systemmodell so erweitert, dass man auch falsch decodierte Pakete zur Netzwerkdecodierung verwenden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ratenregionen mit unseren Algorithmen deutlich größer werden.

Die Grafik zeigt beispielhaft die Ratenregion, die sich mit unserem Algorithmus [3] ergibt. Diese ist größer als für den Vergleichsalgorithmus [1]. Simulationen mit Turbo-Codes erreichen tatsächlich die in [3] hergeleiteten oberen Schranken.

Previous studies on broadcast channels showed that feedback can enlarge the capacity region if the links are Packet Erasure Channels (PEC). In [1], a transmission algorithm to achieve the capacity is proposed. In this algorithm the transmitter sends network coded packets based on ACK/NAK feedback. The receivers decode these packets by using the successfully decoded packets received previously. The network coded packets provide different information for different users simultaneously and hence increase rate.

As an example, assume that the source has two packets P_A and P_B for

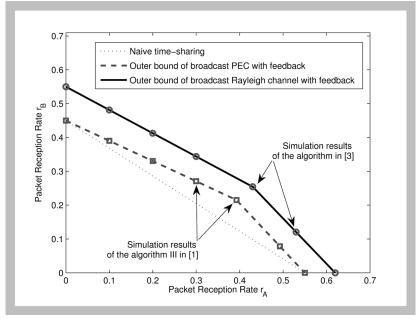
the destination nodes A and B, respectively. Due to the erasures on the channel, node A receives only the packet P_B and node B receives only the packet P_A. In a traditional system, the lost packets are retransmitted unless their destination decodes them correctly. But if the transmitter sends the network coded packet $P_A \oplus P_B$, both A and B can recover their lost packets by using the previously received packets. Based on this basic example, one can see that network coding can reduce the number of retransmissions and increase the packet reception rates.

The proposed algorithms and bounds in [1] and [2] are developed for PEC, and this assumes that the erroneously received packets are discarded. This simplification of the channel model discards the soft information within the packets. By using the soft information within the erroneously received packets, the system performance can be improved. We applied this insight to a broadcast channel with Rayleigh fading [3]. The figure below shows the packet reception rate region for both users for the algorithm in [1] and for our algorithm which uses soft decoding



and signal combining. As shown in the figure, the rate region of our algorithm is larger than the rate region of the algorithm given in [1]. Simulation results with turbo codes also support the achievability of the derived bounds in [3].

- [1] Georgiadis, L.; Tassiulas, L.: Broadcast Erasure Channel with Feedback
 Capacity and Algorithms. In: Network Coding, Theory, and Applications, Workshop, June 2009
- [2] Wang, C.: Capacity of 1-to-k Broadcast Packet Erasure Channels with Channel Output Feedback. In: 48th Annual Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing, Allerton, Oct. 2010
- [3] Song, X.; İşcan, O.: Network Coding for the Broadcast Rayleigh Fading Channel with Feedback. – In: *Proc. IEEE Int. Symposium on Information Theory* (ISIT 2012), Boston, July 2012



Rate regions of the algorithms given in [1] and [3].

Drahtlose Kommunikationssysteme sind heutzutage essentiell für die Verbreitung von Information. Eine typische Charakteristik dieser Technologien ist es, dass die beteiligten Netzknoten *half-duplex* beschränkt sind. Das bedeutet, dass ein Knoten im ihm zugewiesenen Frequenzband nicht gleichzeitig senden und empfangen kann. Vielmehr müssen die Sende- und Empfangszeiten strikt voneinander getrennt werden.

In praktischen Szenarien erreicht man dies, indem das Netzprotokoll die Sende- und Empfangszeiten deterministisch festlegt. Aus informationstheoretischer Sicht ist dieses Vorgehen nicht optimal. Es schließt a-priori die Möglichkeit aus, einen Teil der zu übertragenden Information im Timing der Sendesymbole zu codieren.

In [3] wurde für ein rekursives Codierverfahren, das die Idee von Timing umsetzt, die Kapazität von half-duplex beschränkten rauschfreien Netzen mit Baumtopologie berechnet. Es hat sich gezeigt, dass man damit besonders bei kleinen Sendealphabeten bis zu 55% mehr Daten übertragen kann.

Timing Codes for Half Duplex Networks

Tobias Lutz

Affordable radio nodes are half-duplex constrained, i.e., a radio node is not able to receive a useful signal at the same time and over the same frequency band within which it is transmitting. As a consequence, transmission and reception times of such radio nodes have to be strictly separated.

In standard designs of wireless networks, separation is achieved by organizing transmission and reception periods in a deterministic fashion using time-division duplex (TDD) or frequency-division duplex (FDD). However, a predetermined transmission-reception schedule falls short of the maximum achievable rate since it excludes the possibility to encode a part of the data in the signal timing, i.e., in the transmission-reception schedule.

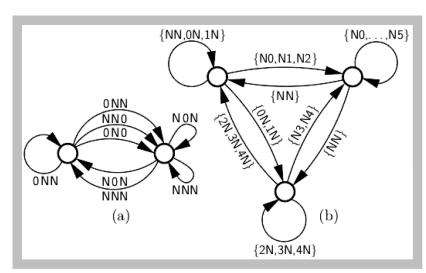
The idea of timing has been considered in other fields. In computer networking, for instance, timing has been proposed as a method for constructing covert channels which are used to secretly transfer information. Switching between different packet rates or timing of acknowledgments in an information dependent manner are two examples for encoding information secretly. A survey of techniques for creating, detecting, and combating covert channels is given in [1].

Another discipline where timing is central to many discussions is neural coding delivered by the sensory organs. The signals of sensory organs are converted into sequences of action potentials called spike trains in which sensory information is encoded through the arrival times of the spikes [2]. Ongoing research tries to answer the question of how spike patterns represent our perception of the world.

My research so far has concentrated on the information-theoretic analysis of half-duplex constrained communication networks (in particular relay cascades and trees) including the construction of capacity-achieving timing codes [3] [4].

For example, the two graphs shown below represent a rate-(2/3) encoder (a), and a rate-(3/2) encoder (b) for multicasting information in binary and 7-ary half-duplex trees. Symbol "N" indicates a channel use without transmission. The encoders were obtained using techniques from constrained coding and are used under a simple symbol-forwarding protocol. The resulting performance is close to capacity. For more information on this topic, the reader is referred to [4].

- Zander, S.; Armitage, G.; Branch, P.: Covert Channels and Countermeasures in Computer Network Protocols.
 In: IEEE Communications Magazine, Dec. 2007
- [2] Rieke, F.; Warland, D.; Steveninck, R.; Bialek, W.: Spikes – Exploring the Neural Code. In: *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts, 1997
- [3] Lutz, T.; Hausl, C.; Kötter, R.: Bits through Deterministic Relay Cascades with Half-duplex Constraint. In: *IEEE Transaction on Information Theory*, Jan. 2012
- [4] Kschischang, F.; Lutz, T.: A Constrained Coding Approach to Error-free Half-duplex Relay Networks. Accepted: *IEEE Transaction on Information Theory*, Dec. 2012



Low complexity encoders which achieve (a) 96% and (b) 94% of the network capacity.

The Cognitive Interference Channel

Stefano Rini

"Cognitive Radios" ermöglichen neue Übertragungsstrategien und modellieren intelligente Terminals mit der Fähigkeit, Informationen im Netzwerk zu sammeln und simultane Übertragungen zu überwachen.

Cognitive radios define a novel paradigm in resource allocation for wireless networks by allowing licensed and unlicensed terminals to coexist in the same spectral resource. Cognitive radio prescribes unlicensed (secondary) transceivers that are aware of the radio environment and follow an observation-decision cycle in order to opportunistically utilize portions of the radio spectrum left unused by the activity of licensed (primary) terminals. It is receiving considerable attention by the U.S. Federal Communications Commission (FCC) and major companies and universities.

The cognitive channel has been studied in depth in the last few years. The best coding methods and rates are provided in [1] by using classical random coding techniques such as ratesplitting, superposition coding and binning. The most general outer bound is derived in [2] by using an argument originally devised for the broadcast channel. Capacity for both the memoryless and the Gaussian case is not known in general. For the general memoryless channel, the largest region where capacity is known is called the better cognitive decoding regime where capacity is achieved by rate-splitting the cognitive message in a private and a public part and having the primary message decoded at both receivers.

This generalizes two previous results: a *very strong* interference result [3], and a *very weak* interference result [4]. In the very strong interference regime there is no loss of optimality in having both receivers decode both messages and the capacity result is akin to the very strong interference result for the interference channel. For the very weak interference regime, instead, capacity is

achieved by having the cognitive receiver decode the interference while the primary receiver treats the interference as noise.

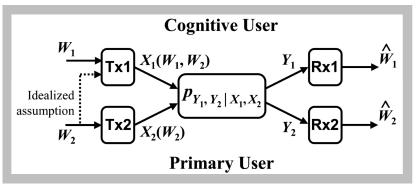
Capacity is also known for the semi-deterministic cognitive inter-ference channel [1], i.e., for the case where the output at the cognitive receiver is a deterministic function of the channel inputs while the output at the primary decoder is a general random function of the inputs. Capacity is achieved by having both the cognitive and the primary message private and applying pre-coding for the cognitive transmission against the interference.

A larger set of capacity results is available for the Gaussian cognitive interference channel. Capacity is known in the *weak interference* regime of [4], a regime that contains the *very weak interference* regime. As for the *very weak interference* regime, the optimal strategy for the primary receiver is to treat the interference as noise but, in this case, the cognitive codeword is pre-coded against the interference created by the primary transmission.

Capacity for the Gaussian case is also known in the *primary decodes cognitive* regime of [5], where the cognitive message is decoded at both receivers and pre-coded against the interference created by the primary user at the cognitive decoder. Capacity for the Gaussian case is also known to within a constant gap of 1 bit/s/Hz and to within a factor two [5].



- [1] Rini, S.; Tuninetti, D.; Devroye, T.: New Inner and Outer Bounds for the Memoryless Cognitive Interference Channel and some New Capacity Results. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 7, pp. 4087–4109, July 2011
- [2] Maric, L.; Yates, R.D.; Kramer, G.: The Capacity Region of the Strong Interference Channel with Common Information. In: Proc. Asilomar Conferencee on Signal, Systems and Computers, pp. 1737–1741, Nov. 2005
- [3] Maric, L.; Yates, R.D.; Kramer, G.: The Strong Interference Channel with Unidirectional Cooperation. In: Proc. UCSD Workshop on Information Theory and Applications, Feb. 2006
- [4] Wu, W.; Vishwanath, S.; Arapostathis, A.: Capacity of a Class of Cognitive Radio Channels: Interference Channels with Degraded Message Sets. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no. 11, pp. 4391–4399, Nov. 2007
- [5] Rini, S.; Tuninetti, D.; Devroye, T.: Inner and Outer Bounds for the Gaussian Cognitive Interference Channel and New Capacity Results. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 2, pp. 820–848, Feb. 2012



The general cognitive interference channel.

Convolutional Low-Density Parity-Check (CLDPC) Codes haben eine sehr spezielle Eigenschaft. 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* an den Maximum-A-Posteriori Threshold annähert.

Bis zum jetztigen Zeitpunkt existieren jedoch keine Methoden, um die Parameter dieser Codes für praktische Anwendungen zu bestimmen. Wir versuchen, mithilfe von *Scaling Laws* das Verhalten endlich langer Codes abzuschätzen. Später sollen diese Ergebnisse für nichtbinäre Convolutional LDPC (NB-CLDPC) Codes generalisiert werden.

In der Abbildung ist beispielhaft das Koppeln mehrerer Protographen zu einem gekoppelten Protographen dargestellt. Dieser gekoppelte Protograph wird im nächsten Schritt "geliftet", wobei dieser mehrfach kopiert und Verbindungen ähnlichen Typs permutiert werden. So entsteht eine Parity-Check-Matrix mit diagonaler Struktur.

Convolutional low-density paritycheck (CLDPC) codes have gained attention due to an interesting phenomenon called spatial coupling. Spatial coupling of LDPC codes in-

Nonbinary Convolutional LDPC Codes

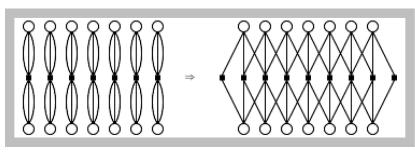
Markus Stinner

their belief-propagation creases threshold up to the maximum-a-posteriori threshold of the underlying ensemble which is the maximum possible value [1] [2]. The best known examples of spatially LDPC (SC-LDPC) codes are convolutional LDPC codes as introduced in [3]. The construction of these codes is based on protographs as shown in the figure below. Small LDPC Tanner graphs called protographs get spatially coupled and form a convolutional protograph which then gets lifted.

While these codes reach capacity for infinitely long block lengths [2], an open question is how these codes perform for finite block lengths. We wish to determine optimal tradeoffs between chain lengths and sizes of the codes, and the optimal degree distribution. Multiple parameters come into play and up to now there exist only a few experimental results [4].

There exist various attemps to predict the performance of standard LDPC code ensembles, e.g. EXIT charts for irregular codes as in [5], where the mutual information between the decoder parts is tracked with a single parameter. Unfortunately, this approach is not easy to use for CLDPC codes.

We follow another approach as in [6] where scaling laws are applied. The basic idea is that in the waterfall region, all finite-length error probability curves are scaled versions of a single mother curve f(z). This approach has been generalized to several code ensembles, e.g. Repeat-Accumulate codes in [7].



Coupling of multiple protographs to a coupled protograph. This coupled protograph gets lifted in the next step.

Furthermore, an important generalization is nonbinary NB-CLDPC codes. In [8], it was also shown that for these codes, the MAP performance can be related to the BP performance as in the binary case so that this seems to be a very promising approach.

- [1] Lentmaier, M.; Sridharan, A.; Costello, D. J.; Zigangirov, K. S.: Iterative Decoding Threshold Analysis for LDPC Convolutional Codes. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 56, no. 10, pp. 5274–5289, Oct. 2010
- [2] Kudekar, S.; Richardson, T.; Urbanke, R.: Threshold Saturation via Spatial Coupling: Why Convolutional LDPC Ensembles Perform so Well over the BEC. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theory* (ISIT 2010), Austin, June 2010
- [3] Jimenez Felstrom, A.; Zigangirov, K. S.: Time-varying Periodic Convolutional Codes with Low-density Parity-check Matrix. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 45, no. 6, pp. 2181– 2191, June 1999
- [4] Olmos, P. M., Urbanke, R.: Scaling Behavior of Convolutional LDPC Ensembles over the BEC. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theory*, St. Petersburg, Aug. 2011
- [5] ten Brink, S.; Kramer, G.; Ashikhmin, A.: Design of Low-density Parity-Check Codes for Modulation and Detection. In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 4, pp. 670–678, Apr. 2004
- [6] Ezri, J.; Montanari, A.; Urbanke, R.: A Generalization of the Finite-Length Scaling Approach beyond the BEC. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theo*ry, pp.1011–1015, June 2007
- [7] Andriyanova, I.: Finite-length Scaling of Repeat-accumulate Codes on the BEC. In: *IEEE Int. Zurich Seminar*, pp. 64–67, March 2008
- [8] Rathi, V.; Andriyanova, I.: Some Results on MAP Decoding of Non-Binary LDPC Codes over the BEC. In: *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 57, no. 4, pp. 2225–2242, 2005

Optimal Relay Positioning in Multicast Wireless Networks

Mohit Thakur

Wir betrachten hier die Multicastübertragung in einem zellularen Netz von einer Ouelle (S) zu einer Vielzahl von Empfängern mit Hilfe eines Relaisknotens (R) aus Sicht des Netz-Designs. Für viele drahtlose Netze, z. B. Breitbandnetze mit niedrigem SNR, kann man zur Flussoptimierung ein angepasstes Hypergraph-Modell verwenden. Wenn für eine gegebene Relaisposition die Rate über einen sog. Hyperarc mit der Leistung (konvex) zu- und mit der Distanz abnimmt, konzentriert sich der maximale Multicast-Fluss meist auf zwei Pfade. Dieses Ergebnis hilft, einfache und effiziente Algorithmen zum Netzdesign zu finden.

Consider a low-SNR (wideband) AWGN network with a single source and several destinations, all positioned on a 2-D Euclidean plane. Suppose there is single relay node that can be positioned to maximize the multicast rate from the source to the set of destinations. The figure below gives an example with source, destinations, and relay.

Suppose that there are only two transmitters in the system, the source and the relay, and all the destinations do not transmit. In the limit of infinite bandwidth, the capacity of a point-to-point AWGN channel is proportional to the SNR. Furthermore, for the broadcast scenario time sharing is optimal, i.e., the source can communicate to each receiver with a fraction of the total power that it has. For the MAC channel, by simply having different transmitters on different bands we can orthogonalize the effect of interference. Combining such broadcast and MAC channels we can construct an easily scalable low-SNR network model. It is worth noting that such a model is not information theoretically optimal but it does provide a practical approach.

We develop hypergraphs for the model and cast the relay positioning problem into a joint positioning and flow optimization problem. There are two main hundles to the optimization. First, the different relay positions can result in different hypergraphs, and second, the hyperarc rate function can be non-convex.

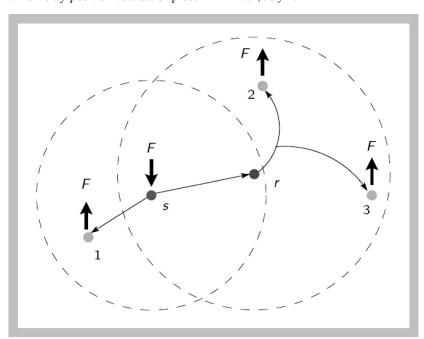
To simplify the problem, we utilize properties of hyperarc rate functions that are increasing and convex in transmit node power and notice flow patterns for different relay positions. It then turns out that for any relay position, the maximum multicast flow from the source to the destinations concentrates over at most two paths originating from source. This flow concentration pattern leaves us with only two paths in the system. Furthermore, using the same idea we can remove certain power variables and get a closed form expression for the maximum multicast flow value for a given relay position (as opposed to solving an optimization program).

The above observations imply that the optimal relay positioning problem can be reformulated as a geometric optimization problem having only distances as the variables. In addition, by observing more patterns we can reduce the search for the optimal relay position to a set of piece6 Arbeitsgebiete

wise linear segments which makes the problem very easy to solve even for a large number of destinations.

Looking forward, we would like to extend our results to more general communication models and answer more general questions, like "What is the optimal relay position minimizing the cost of achieving a target multicast rate?". This question can also be asked in the setting of multiple relays and multiple sessions giving it the flavour of multi-commodity flow optimization.

- [1] Thakur, M.; Médard, M.: On Optimizing Low SNR Wireless Networks using Network Coding. In: *Proc. IEEE Globecom*, Miami, Dec. 2010
- [2] Thakur, M.; Fawaz N.; Médard, M.: Reducibility of Joint Relay Positioning and Flow Optimization Problem. In: Proc. International Symposium on Information Theory (ISIT), Boston, July 2012



Example with a source (S), a set of destinations (1), (2), (3) and the relay (R).



The Wired and Optical Communications Group has been founded in 2004, the first generation of Ph.D. students finished their works end of 2010. The second generation (Yingkan Chen, Tobias Fehenberger, Elisabeth Georg, Beril Inan, and Markus Roppelt) is currently working on projects in the fields of high data-rate communications on optical long-distance links and optical access networks, and on powerline communications in vehicles.

Das Jahr 2010 markiert einen strukturellen Umbruch in der Forschungsgruppe Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT). Die erste Generation von Doktoranden hat in diesem Jahr ihre Arbeiten abgeschlossen und ihren Platz in der Industrie gefunden. Themen und Inhalte ihrer Dissertationen finden Sie im Kapitel 5 dieses Heftes. Dr.-Ing. Leonardo D. Coelho wurde für seine hervorragende Dissertation "Modeling, Simulation, and Optimization of Optical Communication Systems using Advanced Modulation Formats" im Dezember 2011 der Preis der Freunde der TUM zuerkannt und ihm im Rahmen einer Festveranstaltung im BMW-Forum überreicht. Dr. Coelho blieb dem Fachgebiet als PostDoc bis Ende August 2011 erhalten. Aus seinen Arbeiten zu mehrdimensionalen optischen Modulationsformaten resultierte eine vielbeachtete Publikation auf der 37th Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2011) in Genf.

Oscar Gaete hat im Herbst 2011 seine Arbeiten über die optische Übertragung von Ethernet-Signalen bei 100 Gbit/s abgeschlossen und inzwischen eine Stelle bei Infineon Technologies in München angenommen. Er arbeitet in seiner Freizeit an den

Überblick der Arbeiten des Fachgebiets Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Norbert Hanik

letzten Kapiteln seiner Dissertation, die er – hoffentlich – bald einreichen wird

Doch nun zum Stand der aktuell im Fachgebiet LÜT aktiven Doktorandinnen und Doktoranden:

Beril Inan hat ihre Arbeiten zum Aufbau eines FPGA-basierten Senders für ein optisches ODFM (Orthogonal Frequency-Division Multiplex)-System bei einer Kanaldatenrate von 100 Gbit/s weitgehend abgeschlossen und die Ergebnisse in renommierten Journalen und auf internationalen Konferenzen veröffentlicht. In der abschließenden Phase ihrer Arbeit beschäftigt sie sich mit den Einsatzmöglichkeiten optischer OFDM-Systeme in neuartigen Few-Mode-Fasern. Dies sind spezielle Glasfasern, die bei 1550 nm Lichtwellenlänge bereits einige (wenige) Lichtmoden führen und so eine weitere Dimension der Multiplexbildung ermöglichen.

Elisabeth Georg bearbeitet in einem von der BMW Group finanzierten Forschungsprojekt ein grundlegend anderes Thema, nämlich die Untersuchung und Optimierung von Powerline-Datenübertragung in Kraftfahrzeugen. Hier sollen die im Fahrzeug zur Sttromversorgung der elektrischen Komponenten vorhandenen Kupferleitungen gleichzeitig zur Datenübertragung genutzt werden, um den Verkabelungsaufwand im KFZ zu reduzieren und letztendlich Gewicht und Kosten zu senken.

Tobias Fehenberger kam Anfang 2012 in unsere Forschungsgruppe. Auf den Ergebnissen seiner Vorgänger Dr.-Ing. Bernhard Göbel und Dr.-Ing. Leonardo Coelho aufbauend beschäftigt er sich weiter mit informationstheoretischen Grenzen der optischen Übertragungstechnik und untersucht Möglichkeiten, durch eine optimierte Verknüpfung mehrstufiger und mehrdimensionaler Modulationsformate sowie von Methoden der Codierung den absoluten Grenzen möglichst nahe zu kommen.

Yingkan Chen wurde im April 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter im

Fachgebiet LÜT. Er führt die Arbeiten von Ulli Brennenstuhl im BMBF-Projekt Architekturen, Technologien, offene Netzinfrastruktur für das optische Breitbandzugangsnetz (ATOB) im Bereich der optischen Zugangsnetze fort. Ulli Brennenstuhl schied zum 01.04.2012 auf eigenen Wunsch aus unserer Forschungsgruppe aus und ist jetzt bei einer Münchener Firma beschäftigt.

Yingkan Chen untersucht und optimiert in diesem Projekt die Einsatzmöglichkeiten von OFDM im rein optischen Zugangsnetz. Dies geschieht in enger Kooperation mit unserem Projektpartner, dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik und Übertragungstechnik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter der Leitung von Prof. Rosenkranz. Herr Chen hat sich schnell in die Thematik eingearbeitet und das laufende Projekt um vielfältige neue Impulse bereichert.

Unser externer Doktorand *Markus Roppelt* soll noch erwähnt werden. Er arbeitet bei der Firma ADVA Optical Networking AG in Meiningen an der Entwicklung optischer WDM-Systeme im Zugangsnetz und beschäftigt sich hier aktuell mit der Frequenzstabilisierung von Lasern.

In eigener Sache möchte ich noch erwähnen, dass ich von April bis September 2011 ein Forschungssemester wahrnehmen konnte. Freigestellt von den Bürden der Lehre und Verwaltung (!) konnte ich diese Zeit zu 100% zum projektfreien Nachdenken, für wissenschaftliche Berechnungen, Simulationen und Diskussionen nutzen und so nach längerer Pause wieder einmal meine Fähigkeit zu eigenständigem wissenschaftlichen Arbeiten unter Beweis stellen. Verbringen konnte ich diese Monate bei Kollegen an der Universität Kiel und am Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, dem Heinrich-Hertz-Institut (HHI) Berlin. Ich kann eine solche "Auszeit" als Quelle neuer Inspiration und Motivation jedem wärmstens empfehlen.

Next Generation Passive Optical Networks-2 (NGPON-2) via OFDMA

Yingkan Chen

Schon seit 2005 wird der Einsatz von *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) in der optischen Übertragung untersucht. Mit den Vorteilen von OFDM wie z.B. hohe Dispersionstoleranz und einfache Entzerrung [1] ist es auch ein idealer Kandidat für NGPON-2.

Um mit einer Feeder Fiber mehrere optische Netzeinheiten (ONUs) unterstützen zu können, ist eine höhere Empfindlichkeit des ONU-Empfängers erforderlich. Simulationen zeigen, dass CO-OFDMA die Anforderungen von passiven optischen Netzwerken der nächsten Generation (NGPON-2) erfüllt.

NGPON-2 requires a 40 Gbit/s downlink and 1 Gbit/s uplink for an average user. In order to reduce the cost of fiber deployment, it is preferred to have each feeder fiber support 256 to 1024 *Optical Network Units* (ONUs), which leads to a high power splitting ratio in the downlink [2]. Thus receivers with high sensitivity are required for signal detection. *Coherent Optical-OFDM Access Network* (CO-OFDMA) is one of the promising approaches to meet the requirements of NGPON-2.

CO-OFDMA is confronted with laser *phase noise* (PN) and *carrier frequency offset* (CFO). In order to mitigate these system impairments, a pilot pattern called *RF-pilot* (RFP) [3] is introduced. By inserting RFP at the *Direct Component* (DC) (considering baseband OFDM signals), the random walk of the laser PN and the CFO are tracked. Later in the receiver, the RFP is extracted and used to compensate the received signal in the time domain via digital signal processing.

In our work, the performance of the downstream of CO-OFDMA is evaluated together with this RFP technique. The simulations are separated into urban and rural scenarios. The main differences between these two scenarios are that the urban scenario requires a 19-km feeder fiber and a

1 km distribution fiber to each ONU while the feeder fiber and the distribution fiber are 50 km and 10 km, respectively, in rural areas.

In the urban scenario, a larger set of users should be supported via each feeder fiber. Thus, the urban scenario with a variation in the number of ONUs is evaluated. From Inset 1, it can be seen that with a *local oscillator* (LO) power $P_{LO} = -10$ dBm, CO-OFDMA is able to provide a reliable system performance even if the number of ONUs reaches 512. For 1024 ONUs, the maximum Q-factor is slightly lower than the FEC limit (BER= 10^{-3}) with the same P_{LO} .

It should be noted that when applying coherent detection, higher local oscillator power at the receiver is able to amplify the incoming signal, which indicates that higher SNR is achieved by increasing P_{LO} . The maximum P_{LO} is limited by the shot noise introduced by the photodiodes [4]. It is expected that with a higher P_{LO} , e.g. $P_{LO} = -8$ dBm, CO-OFDMA is able to support around 1000 ONUs for each feeder fiber, which exactly meets the requirement of Next Generation Passive Optical Networks-2.

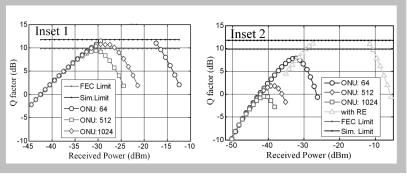
Inset 2 shows a variation in the number of ONUs in a rural scenario. The system performance is investigated using two approaches, namely with/without applying optical amplification for *Reach Extension* (RE). With $P_{LO} = -10$ dBm and longer fiber lengths without RE, even CO-OFDMA cannot afford a large num-

6 Arbeitsgebiete

ber of ONUs such as 64. In contrast to that, when RE is implemented, the total power loss caused by the splitter is compensated. CO-OFDMA is again able to provide a superior system performance. Therefore, for the rural scenario, the implementation of RE is preferred so that the P_{LO} can be tuned even lower and each ONU's cost can be reduced.

For an outlook of this topic, advanced channel coding schemes are investigated to further increase the power splitting ratio and avoid the implementation of active optical components such as optical amplifiers.

- [1] Shieh, W.; Djordjevic, I.: OFDM for Optical Communication. Academic Press, 2010
- [2] Cvijetic, N.: OFDM for Next-Generation Optical Access Networks. In: *Journ. of Lightwave Techn.*, vol. 30, no. 4, pp 384–398, Feb. 2012
- [3] Jansen, S. L. et al.: Coherent Optical 25.8 Gb/s OFDM Transmission over 4160 km SSMF. In: *Journ. of Lightwave Techn.*, vol. 26, no. 1, Jan. 2008
- [4] Hanik, N.: Optical Communication Systems. Lecture Notes, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, TU München, 2012



Simulation in urban and rural scenarios. Inset 1: 19 km feeder fiber, 1 km distribution fiber. Inset 2: 50 km feeder fiber: 10 km distribution fiber. $P_{1,0} = -10$ dBm.



Bei optischen Weitverkehrssystemen gibt es einen steigenden Bedarf nach höheren Bitraten pro Kanal bei gleichbleibend großen Übertragungsweglängen. Gemäß dem bisherigen defacto Standard [1] wird mittels QPSK auf zwei Polarisationen eine Nettodatenrate von 100 Gbit/s pro Kanal über mehrere tausend Kilometer Monomodefaser erreicht. Zur Fehlerkorrektur wird dabei ein Reed-Solomon-Code mit harten Entscheidungen verwendet.

Es wurde untersucht, wie im Vergleich ein höherstufiges Modulationsverfahren wie 16-QAM abschneidet, wenn perfekte codierte Modulation angenommen wird. Die Simulationen zeigen, dass mit 16-QAM bei einer um 50% höheren Bitrate weiter übertragen werden kann als mit QPSK bei der bisherigen FEC-Grenze.

For many years, there has been a wide-spread demand for higher bit rates in optical communication systems in order to provide the infrastructure for various multimedia applications requiring high data rates. At the same time, certain transmission distances must be met without

Mutual Information as Figure of Merit in Optical Communication Systems

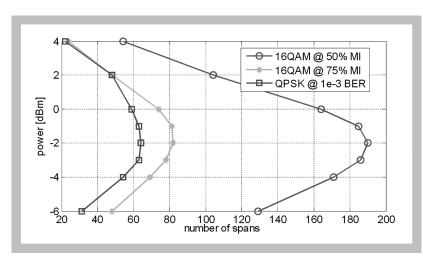
Tobias Fehenberger

electrically regenerating the signal. A potential way to increase the total net bit rate is to replace the currently used modulation formats by higher-order schemes.

In the 100G standard [1], dual-polarization QPSK with 28 GBaud per polarization and error correction by a Reed-Solomon code that can correct a raw bit error rate (BER) of 10⁻³ down to 10⁻¹⁵ is used. With a higher-order modulation format such as rectangular 16–QAM, long transmission distances that were feasible with QPSK cannot be realized any more at the same baud rate.

A potential solution for this limited reach is to use a higher-order modulation format with a low-rate code (c.f. [2]). The question arises how far 16–QAM can be transmitted if a certain percentage of the bits per constellation symbol is used for redundancy. Keeping the baud rate constant, 16–QAM with rate 1/2 has the same net bit rate as uncoded QPSK, 16–QAM with rate 3/4 has 50% higher bit rate than QPSK.

The metric used to determine the maximum reach for 16–QAM at a certain rate is the mutual information (MI) [3] that describes the maximum rate we can transmit if the BER is to be made arbitrarily small. MI can be evaluated by simulating the probability distribution of received symbols using histograms.



Maximum reach for varying launch powers.

We applied this approach to an optical transmitter creating 7 co-propagating signals with 28 GBaud, using a 50 GHz grid. Each fiber span consists of 80 km of single-mode fiber followed by an Erbium-doped fiber amplifier with 4.5 dB noise figure. The digital coherent optical receiver transformed the optical signal coherently in the digital domain using a 90° optical hybrid and an A/D-converter. In the digital domain, chromatic dispersion was compensated, the signal was equalized and the carrier phase was recovered. After these steps, the MI was determined using histograms and the simulation was stopped when the MI divided by the bits per symbol dropped below 1/2 or 3/4, respectively. Otherwise, the simulated distance was inreased by one span.

The resulting maximum reach curve is depicted in the figure. When comparing the rightmost 16–QAM curve (rate 1/2) with QPSK at the FEC limit 10⁻³, it can be seen that the reach can be drastically increased assuming perfect coded modulation. For 16–QAM with rate 3/4 having a 50% higher net bit rate than QPSK, the reach is still larger than that of QPSK. Hence, with ideal coded modulation, the distances required for long-haul optics are still met and the bit rate can even be increased.

We plan to evaluate how well practical coded modulation performs and whether this can be specifically used for dual-polarization transmission.

- [1] Interfaces for the Optical Transport Network, Telecommunication Standardization Sector, Int.Telecommunication Union, G. 709, Feb. 2012
- [2] Ungerboeck, G.: Channel Coding with Multilevel/Phase Signals. In: *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT–28, pp. 55–67, 1982
- [3] Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication. In: *The Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July 1948

Channel Modelling of an In-Vehicle PLC Channel

Elisabeth Georg

Power Line Kommunkation (PLC) ist eine schon weit verbreitete Übertragungstechnologie und auch die Modellierung des PLC-Kanals wurde bereits gründich untersucht, z.B. in [1] und [2]. Diese PLC-Kanalmodelle gelten allerdings nur innerhalb von Gebäuden. In dieser Arbeit wurde ein physikalisches Modell für die Energieleitungen in einem Fahrzeug entwickelt und der optimale Abschlusswiderstand bzw. die dazugehörige optimale Eingangsschaltung des Steuergerätes ermittelt.

Die Abbildung zeigt Ergebnisse der PLC-Kanalmodellierung. Oben ist ein Schritt der Modellierung dargestellt, im unteren Teil links die Kabelgeometrie und rechts der Dämpfungsverlauf.

Safety and comfort aspects have a high priority within the design and manufacturing process of a vehicle. The always increasing number of electronic devices, sensors, and equipment require higher data rates for data transmission. One possibility for increasing the bit rate is to use optical fibers (e.g. MOST). However, the fiber leads to high expenses, complex structure, additional specialized equipment and hence more weight. Thus, car manufacturers use coaxial cables and dedicated twisted pair lines as a fall back. But here also, the increased cabling complexity, weight and cost require rethinking of the invehicle data transmission as a whole. As an alternative solution Power Line Communication (PLC) seems to be a promising technology that uses the car power line network as the physical link for supporting data transmission.

PLC is not a new technology and much research has been done in this field. Also the topic of modelling a PLC channel has been thoroughly investigated in [1] and [2]. However, the main application fields of PLC so far are in-building, the "last mile" to a residential area and industrial plants. Hence, there is not much

work done on modelling an in-vehicle PLC channel.

One can distinguish between physical and parametric PLC models. The channel model developed in this work is a physical model based on chain matrix (also called ABCD- or simply A-matrix) theory [3]. That is, a chain matrix is calculated for each physical element, such as electrical device or cable, along the modelled line. At the end all matrices are subsequently interconnected in cascade to produce the channel's frequency response.

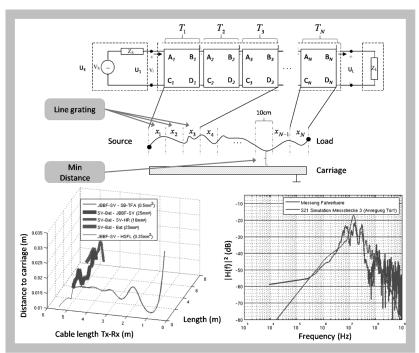
Since power lines are mostly single wire lines, a cable location needs to be generated including a specific arrangement of the main and tap lines as well as the distance between the lines and the ground plane.

The developed model requires no parameter fitting. It describes the electric properties of a transmission line as a function of cable length and cross section, cable location, cable material, car battery and diverse car specific control devices.

Based on the developed model, the ideal load impedance has been defined as providing an optimum trans6 Arbeitsgebiete

fer function for a general in-vehicle PLC channel.

- [1] Esmailian, T.; Kschischang, F. R.; Gulak, P. G.: An In-building Power Line Channel Simulator. In: *Proc.* 2002 Int. Symp. on Power Line Communications and its Applications, IS-PLC2002, pp. 31–35, Athens, Greece, March 2002
- [2] Khan, S.; Salami, A. F.; Lawal, W. A.; Zahirul Alam, A. H. M.; Hameed, A. S.; Salami, M. J. E.: Characterization of In-door Power Lines as Data Communication Channels – Experimental Details and Results. In: *Int. Journ. of Electrical and Computer Engineering*, vol. 4, no. 10, pp. 647–651, Oct. 2009
- [3] Temes, G. C.; Lapatra, J. W.: Introduction to Circuit Synthesis and Design. McGraw Hill Higher Education, ISBN 0070634890, 1967



A cascading interconnection of chain matrices to model a power line channel.

Representation of possible cable location and transfer function.

100 Gigabit Ethernet (100 GbE) wird der Standard für (optische) IP-Netze der nächsten Generation sein. Wir betrachten in diesem Beitrag einige Aspekte von CO-OFDM für optische Netze.

Coherent optical orthogonal frequency division multiplexing (CO-OFDM) offers all advantages of coherent detected modulation formats. such as dispersion un-managed transmission and electronic compensation of polarization-mode dispersion. In addition, CO-OFDM is highly suitable for the implementation of flexirate transponder technology, i.e. the ability to switch between modulation formats depending on the physical infrastructure. In next-generation transmission systems it is particularly important to find the optimum balance between maximum transmission reach and maximum feasible spectral efficiency. The negligible out-of-band signal power of CO-OFDM makes it possible to multiplex multiple chan-

Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Beril Inan

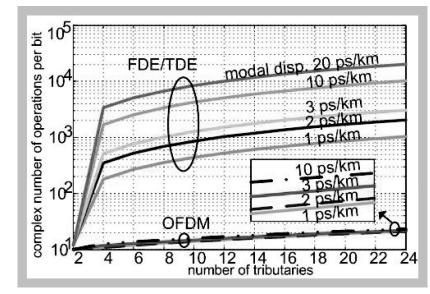
nels or sub-bands with only small frequency spacing. Several experiments have been reported showing the generation of multi-band channels using CO-OFDM, realizing up to 1 Tbit/s super-WDM channels for long-haul transmission systems.

Real-time OFDM implementations have attracted significant attention since it is essential to understand the limits of realistic digital signal processing (DSP) algorithms. In particular, a high IFFT (Inverse Fast Fourier Transformation) size is required in order to keep the overhead for the cyclic prefix at a minimum. In addition, a high IFFT size provides a clear separation of OFDM symbols and RF pilots used for laser phase noise compensation. We successfully demonstrated a real time optical OFDM transmitter at 93.8 Gbit/s with a 1024 point IFFT and polarization multiplexing. This is the largest IFFT size shown for optical OFDM to our knowledge. Compared to arbitrary waveform generators, a significant power increase was observed in FPGA processing resulting in an OSNR penalty of up to 2 dB at a BER of 10⁻³ [1].

Another promising application for optical OFDM is few mode fibers

(FMF) which is one of the possible solutions to overcome capacity crunch. One of the problems with the realizing of transmitters for FMFs is that these fibers have a high modal dispersion. This results in a high number of equalization taps which might make long-haul transmission using FMFs impractical due to the required DSP complexity.

The complexities of common equalizers are usually given in terms of complex multiplications per bit. Based on this approach we compare the complexity of mode-division multiplexed DSP algorithms with different numbers of multiplexed modes in terms of modal dispersion and distance. It is found that training symbol based equalizers have significantly lower complexity compared to blind approaches for longhaul transmission. Among the training symbol based schemes, OFDM requires the lowest complexity for crosstalk compensation in a modedivision multiplexed receiver. The main challenge for training symbol based equalization is the additional overhead required to compensate modal crosstalk, which limits the tolerated modal dispersion to 6 ps/km for OFDM at 2000 km transmission. Moreover, it was shown that the complexity of OFDM does not change signifycantly for an increasing number of modes, whereas for a blind approach like FDE/TDE the complexity increases drastically when scaling to a higher number of modes [2]. The figure below shows the complexity in terms of increasing number of modes.



Equalizer complexity increases as the number of modes in the few mode fiber grows for 1000 km. FDE/TDE: Equalization in Frequency (Time) Domain.

- [1] Inan, B.; Adhikari, S. et al.: Realization of a Real-Time 93.8-Gb/s Polarization-Multiplexed OFDM Transmitter with 1024-Point IFFT. In: *Proc.* ECOC, Sept. 2011
- [2] Inan, B.; Spinnler, B.; et al.: Complexity Analysis for Higher Order Few Mode Fiber DSP Equalizers In: *Proc.* ECOC, Sept. 2012

7.1 Vorbemerkungen zu den Forschungsprojekten

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder



This chapter lists externally-funded research projects. Most of our support came from the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) through an Alexander von Humboldt Professorship. About half of the LNT projects described in Section 6 were supported by the Professorship, in particular the projects on multi-user information theory, network coding, and the work by our postdocs. The Federal Ministry of Economics and Technology supported the NEXT Project (Chapter 7.3) that ended in 2012. The research projects with the German Aerospace Agency (DLR), Nokia Siemens Networks (NSN), and Alcatel-Lucent were newly acquired in 2011 and 2012. The NSF project (Chapter 7.2) began in 2009 while Gerhard Kramer was at USC.

The TUM Institute for Advanced Study funded a Hans Fischer Senior Fellow starting in 2011 and plans to fund a Rudolf Diesel Fellow soon. A DFG project on Compact Antenna Arrays was funded starting in 2012.

The LÜT continued their BMBF funded ATOB-project on optical broadband networks, as well as projects funded by NSN (on OFDM for optical channels) and the BMW group (on simplifying and improving incar communications). Chapters 7.7-7.9 report on results of this work.

As only half a page is assigned to each project, the reader is kindly referred to Sections 5 and 6 for details.

Beginnen wir bei der Auflistung der durch Drittmittel finanzierten Forschungsprojekte beim Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT). Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderte NEXT-Projekt (Kapitel 7.3) wurde bereits im letzten Berichtszeitraum begonnen und im Juli dieses Jahres abgeschlossen. Dagegen wurden die Forschungsprojekte mit der German Aerospace Agency, Nokia Siemens Networks und Alcatel-Lucent im Berichtszeitraum neu akquiriert (Kapitel 7.4 – 7.6). Das von der US-amerikanischen National Science Foundation geförderte Projekt (Kapitel 7.2) nimmt eine Sonderstellung ein, da Gerhard Kramer dieses bereits von der University of Southern California (USC) mitbrachte.

Die beiden von der Europäischen Union seit 2008 geförderten Projekte N-Crave und NEWCOM++ wurden Ende 2010 beendet und werden hier nicht mehr beschrieben. Auf die Forschungsprojekte im Zusammenhang mit der Humboldt-Professur bzw. mit TUM-IAS wird im englischen Text genauer eingegangen.

Das Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT) bearbeitet weiter das vom BMBF geförderte ATOB-Projekt zum optischen Breitbandzugangsnetz und die Industrieprojekte mit Nokia Siemens Networks (NSN) und der BMW Group. Wir berichten hierüber in den Kapiteln 7.7 bis 7.9.

- 7.1 Vorbemerkungen
- 7.2 NSF-Projekt der USC
- 7.3 LNT-Projekt NEXT
- 7.4 LNT-Projekt DLR@Uni Munich Aerospace
- 7.5 LNT-Projekt mit NSN
- 7.6 LNT-Projekt mit Alcatel-Lucent
- 7.7 LÜT-Projekt ATOB
- 7.8 LÜT-Projekt mit BMW
- 7.9 LÜT-Projekt mit NSN



Projektdurchführung:

University of Southern California

Projektzeitraum:

01.07.2009-30.06.2013

Berichtszeitraum:

01.10.2010-30.09.2012

Drittmittelförderung:

National Science Foundation (NSF)

Projektpartner:

Prof. B. Chen, Syracuse University Prof. V. Veeraralli, 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

The increase in traffic demand and the advances in optical technology over the past two decades made determining the capacity of optical fiber networks of great interest. The optical fiber channel suffers from three main impairments of different nature: noise, dispersion, and Kerr non-linearity. The interaction between these three phenomena makes the problem of estimating the capacity challenging.

We studied a simplified case of the coupled Non-linear Schroedinger (NLS) equations in which all orders of dispersion were neglected. We derived a discrete-time memoryless interference network model that captures the non-linear phenomenon of cross-phase modulation (XPM) that arises in optical fiber communication employing wavelength-division multiplexing (WDM). The effect of XPM is that an amplitude variation

on one carrier induces a phase variation on the other carrier. For the case of two users, a new technique called interference focusing is proposed where both users achieve the maximum pre-log factor of 1 simultaneously, thereby doubling the pre-log factor of 1/2 achieved by using conventional methods.

We next included the first-order dispersion in the coupled NLS equations to make the model more realistic. We developed a discrete-time two-user interference channel model that captures the XPM effect as well as the effect of group velocity mismatch (GVM) that introduces memory in the channel. We developed a receiver that is composed of a bank of frequency-shifted matched filters, which allows both users to achieve a pre-log factor of 1 simultaneously by using the interference focusing technique we introduced earlier.

7.3 NEXT – Network Coding Satellite Experiment

Onurcan İşcan und Christoph Hausl

Projektdurchführung:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Projektzeitraum:

01.05.2009-31.07.2012

Berichtszeitraum:

01.10.2010-31.07.2012

Drittmittelförderung:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Koordination: Raumfahrt-Management des Deutschen Zentrums für Luftund Raumfahrt (DLR)

Projektpartner:

Dr. Herrmann Bischl, Institut für Kommunikation und Navigation, DLR, Oberpfaffenhofen Dr. Jäckel, IQ Wireless GmbH, Berlin

Ziel des NEXT-Projekts war die Entwicklung und Demonstration neuer ressourcenschonender Übertragungsverfahren für die Satellitenkommunikation, wobei neben Netzcodierung und Mehrteilnehmer-Detektion auch Verfahren für das zuverlässige Verteilen von Daten von einem Satelliten zu mehreren Terminals (reliable multicast) eingesetzt wurden. U.a. wurde eine flexible Demonstrationsplattform entwickelt, die Experimente mit den neuen Übertragungsverfahren ermöglicht. Ein späterer Mitflug der Plattform auf dem GEO-Satelliten der nationalen Telekommunikationsmission wird angestrebt.

Dieses Projekt NEXT war die weltweit erste Demonstration und Erprobung von Network Coding im Bereich der Satellitenkommunikation. Es wurden neue Übertragungstechniken, die zurzeit in der Grundlagenforschung diskutiert werden, für den Anwendungsbereich der Satelliten-kommunikation entwickelt und anschließend in einem Laborsystem mit Hilfe von Satelliten-Kanalemulatoren erfolgreich demonstriert. So können u.a. die Satellitentransponder bandbreiteneffizienter und ressourcenschonender genutzt werden.

Die vorgestellten Verfahren wurden am Institut für Kommunikation und Navigation des DLR zusammen mit unserem Lehrstuhl entwickelt und von IQ Wireless GmbH, einem mittelständischen Berliner Unternehmen, implementiert. In einem wieteren Schritt sollen diese Verfahren mit dem GEO-Satelliten Heinrich Hertz in der Praxis erprobt werden, der zur Untersuchung und Validierung neuer Kommunikations- und Nutzlasttechnologien Anfang 2017 gestartet werden soll.

7.4 DLR@Uni – Munich Aerospace

Michael Heindlmaier und Gerhard Kramer

Airplanes and satellites span a large multihop communication network around the world, sometimes called the airborne network. The goal of this common project with the German Aerospace Agency is to apply recent results from information theory and coding to the airborne network.

As one example, providing highspeed data access to airplanes is still a challenge due to limited satellite resources. As an alternative, one can use the multihop network spanned by the planes themselves. Challenges are lossy connections between individual nodes and the constantly changing environment, as well as medium access and coordination.

This setup includes scenarios where a set of correlated sources located at different nodes should be transmitted to a common destination. We are currently interested in efficient coding schemes for this prob-

lem for different network abstraction levels.

A second promising scenario deals with satellite broadcast systems such as DVB-S2. Receivers request missing packets via an uplink channel to obtain retransmissions.

The request can also include the information about the packets already stored by the requesting receiver. The satellite can use this feedback to adapt the encoding of its broadcast packet. This can reduce the number of required retransmissions and thus improve the throughput of the system. The goal is to adapt schemes to the specify protocol requirements and to trade off performance versus coding complexity.

Further topics to be investigated in this project are low-complexity relaying approaches and joint optimization of medium access and coding.



Projektdurchführung:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Projektzeitraum:

01.01.2012-30.09.2016

Berichtszeitraum:

01.01.2012-30.09.2012

Drittmittelförderung:

Helmholtz-Allianz

Projektpartner:

Institute for Communications and Navigation,

German Aerospace Agency (DLR):

Dr. Andrea Munari,

Dr. Gianluigi Liva

7.5 Interference Alignment Techniques for Future Mobile Radio Concepts & Communication Methods for Interference-Limited Wireless Systems

Stefan Dierks, Christoph Hausl und Gerhard Kramer

The objective of these projects is the evaluation and development of efficient communication methods for interference-limited wireless systems. In particular, a class of methods called interference alignment is considered.

In current cellular networks, a mobile station's throughput depends on its position with respect to the base station. Next generation communication systems must provide similar user experience as today's broadband internet connections irrespective of the reception quality between the mobile and base stations. 3GPP (3rd Generation Partnership Project) has already standardized the LTE (Long Term Evolution) air interface and is moving to LTE-Advanced to fulfill requirements specified by the International Telecommunication Union - Radio Communication Sector (ITU-R). LTE-Advanced will admit higher peak data rates and more users per cell as well as considerably higher peak and average spectral efficiency than currently employed 3G technologies. However, enhancements in radio link technology alone will not solve the problem of poor coverage and capacity at the cell borders caused primarily by inter-cell interference.

There are several promising strategies for communication in interference-limited scenarios, the most important ones are Coordinated Multi-Point (CoMP) and Interference Alignment (IA) transmission. These new strategies outperform conventional ones like treating interference as noise or orthogonalization. During the project the different strategies are evaluated for different scenarios and new strategies are developed.

Projektdurchführung:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Projektzeitraum:

- 1. Projekt (01.03.2011–29.02.2012): Interference Alignment Techniques for Future Mobile Radio Concepts
- 2. Projekt (01.03.2012–28.02.2013): Communication Methods for Interference-Limited Wireless Systems

Berichtszeitraum:

01.03.2011-30.09.2012

Drittmittelförderung:

Nokia Siemens Networks GmbH

Projektpartner bei NSN:

Michael Färber (Projektleiter bis 08/2012), Dr. Simone Redana (Projektleiter ab 08/2012), Dr. Michel, Bernhard Raaf, Wolfgang Zirwas



Projektdurchführung:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Projektzeitraum:

01.06.2012-30.06.2013

Berichtszeitraum:

01.06.2012-30.09.2012

Drittmittelförderung:

Alcatel-Lucent Deutschland AG Bell Labs Germany

Projektpartner:

Dr. Stephan ten Brink

7.6 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 communication, for example for backhaul and 5G systems.

The physical layer and the medium access control layer of wireless backhaul communication 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 will be evaluated. These codes are a class of spatially coupled LDPC (SC-LDPC) codes which achieve the MAP-threshold with belief propagation decoding for very long block lengths. It is to be expected that with the combination of efficient LDPC codes and network coding the performance of existing wireless backhauls can be significantly enhanced.

In the first four months an overview of existing coding schemes and results was gathered. Existing comparisons of the performance of convolutional LDPC codes for different code rates and lengths were reviewed and verified. The preparation of the project also included one month of research at the ETIS laboratory in Cergy-Pontois, France to learn from other researchers in the field of non-binary and SC-LDPC codes.

7.7 Architekturen, Technologien, offene Netzinfrastruktur für das optische Breitbandzugangsnetz (ATOB)

Ulli Brennenstuhl, Yingkan Chen und Norbert Hanik

Projektdurchführung:

Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Projektzeitraum:

01.08.2010-30.08.2013

Berichtszeitraum:

01.09.2010-30.09.2012

Drittmittelförderung:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Projektpartner:

Deutsche Telekom AG, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, TU Dortmund, Universität Stuttgart, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, HHI Berlin, European Center for Information and Communication Technologies, Berlin Ziel des Projektes ATOB ist 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 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 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 im bisheri-

gen Projektverlauf Konzepte für die optische OFDM-Übertragung im Downlink (das heißt von der Vermittlungsstelle zum Kunden) und im Uplink (also vom Kunden zur Vermittlungsstelle) entwickelt und in Computersimulationen optimiert. Hier wurden sowohl aufwands- und kostengünstige Systeme mit Direktdetektion als auch aufwändigere und leistungsfähigere Systeme mit kohärentem Empfang betrachtet.

Anschließend erfolgte für vielversprechende Ansätze eine experimentelle Auswertung im Labor des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik und Übertragungstechnik (Professor Rosenkranz) an der Universität Kiel. Diese Untersuchungen dauern derzeit noch fort. Die Ergebnisse gehen in der finalen Phase des Projekts in das Design eines Systemdemonstrators ein, der vom HHI in Berlin mit FPGAs realisiert wird.

7.8 Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Beril Inan und Norbert Hanik

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 fast Fourier transform and equalization required for OFDM, but also laser phase noise compensation.

The few mode fibers (FMF) recently attracted attention as a promising technology for capacity expansion. However, due to the differrential modal delay (DMD) between the propagating modes in a FMF, the equalizer complexity is significantly higher compared to SMF. The equalizer complexity of mode division multiplexed coherent receivers was analyzed. Among most used equalizers like time domain equalizer (TDE), hybrid frequency domain/ time domain equalizer, training symbol based frequency domain equalizer (FDE), it was proven that OFDM offers the lowest complexity for FMFs. Measurements using OFDM with FMF and FMF amplifiers are being conducted.



Projektdurchführung:

Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Projektzeitraum:

01.11.2009-01.03.2013

Berichtszeitraum:

01.10.2010-30.09.2012

Drittmittelförderung:

Nokia Siemens Networks GmbH

Projektpartner:

Dr. Bernhard Spinnler

7.9 Flexibilisierung und Vereinfachung des Fahrzeugkabelbaums (FlexKab)

Elisabeth Georg und Norbert Hanik

In diesem Projekt sollen neuartige Systeme für die Datenübertragung innerhalb des Fahrzeugs entwickelt werden, die auf den gezielten Einsatz von Technologien zur kombinierten Übertragung von elektrischer Energie und Daten (PLC: Power Line Communication) sowie auf drahtlose Kommunikationsverbindungen aufbauen. Dadurch werden hauptsächlich zwei Ziele verfolgt:

- Die Anzahl der notwendigen Kabelverbindungen zu verringern,
- die Flexibilität des Kabelbaums zu erhöhen hinsichtlich jeder Art von Veränderungen oder Erweiterungen, die entweder während der Fertigung oder nach Auslieferung des Fahrzeugs vorzunehmen sind.
 Innerhalb des Gesamtprojekts sind wir

Innerhalb des Gesamtprojekts sind wir für die drahtgebundene PLC-basierte Übertragung verantwortlich und somit in neun Arbeitspaketen mitbe-

teiligt. Bei den wöchentlich stattfindenden Projekttreffen wird der aktuelle Arbeitsfortschritt aller Partner abgeglichen. In der Regel alle fünf Monate findet ein Treffen mit Vorstandsmitgliedern und Abteilungsleitern der BMW AG (Steuerkreis) statt. Dabei werden Projektziele überdacht und entsprechende Änderungen am Projektplan vorgenommen.

Im Berichtszeitraum wurde die Kanalmodellierung erfolgreich abgeschlossen. Mit den entwickelten Inner-Fahrzeug-Simulationsmodellen für Ein- und Zweidrahtleitungen wurden Simulationen zur Leistungsbewertung eines PLC-Übertragungssystems im Kfz durchgeführt. Des Weiteren wurde ein FPGA-basierter Demonstrator für unidirektionale PLC-basierte Datenübertragung bei einer Trägerfrequenz von 10 MHz implementiert.

Projektdurchführung:

Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Projektzeitraum:

01.04.2010 - 31.03.2013

Berichtszeitraum:

01.10.2010 - 30.09.2012

Drittmittelförderung:

BMW Group Forschung und Technik

Projektpartner:

Dr. Kellermann, BMW ZT-4 Martin Blesinger, Lehrstuhl für Höchstfrequenztechnik, TUM Thomas Gehrsitz, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, TUM Georg Schnattinger und Dennis Schobert, beide Lehrstuhl für Höchstfrequenztechnik, TUM



8.1 Einige allgemeine Bemerkungen Doris Dorn und Günter Söder

This chapter includes the publications of all lecturers and employees of the institute between October 2010 and September 2012.

Two books were written by members of the Institute for Communications Engineering (LNT), see Section 8.2. In addition, 23 journal articles (Section 8.3) and 29 articles in conference proceedings (Section 8.4) were published, and seven patents were issued (Section 8.5). Section 8.6 lists the 41 public open presentations done by LNT employees.

The staff of the Wired and Optical Communications Group (LÜT) group has produced three books (dissertations of Breyer, Coelho, and Göbel), seven journal articles, 23 articles in conference proceedings and has given six presentations.

Im Berichtszeitraum wurden von den Angehörigen des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) zwei Bücher verfasst (Dissertationen von Traskov und Zeitler, Kapitel 8.2), dazu 23 Zeitschriftenbeiträge (Kapitel 8.3) und 29 Aufsätze in Tagungsbänden (Kapitel 8.4). Im Kapitel 8.5 sind sieben Patente aufgeführt, bei denen Gerhard Kramer beteiligt ist. Das Kapitel 8.6 beinhaltet die 41 öffentlichen Vorträge und Präsentationen von LNT-Mitarbeitern.

Die Mitarbeiter und Doktoranden des Fachgebiets Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT) haben drei Bücher (Dissertationen) sowie sieben Zeitschriftenbeiträge und 23 Aufsätze in Tagungsbänden verfasst. Zudem haben Prof. Hanik und seine Mitarbeiter sechs Vorträge gehalten.

- 8.1 Einige allgemeine Bemerkungen
- 8.2 Bücher und Buchbeiträge
- 8.3 Zeitschriftenbeiträge
- 8.4 Beiträge in Tagungsbänden
- 8.5 Patente
- 8.6 Vorträge und Präsentationen

8.2 Bücher und Buchbeiträge

Traskov, D.: Network Coding for the Multiple Access Layer. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr. Hut, München, Oct. 2010

Zeitler, G.: Low-Precision Quantizer Design for Communication Problems. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr. Hut, München, Mar. 2012

Breyer, F.: Multilevel Transmission and Equalization for Polymer Optical Fiber Systems. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr. Hut, München, Dec. 2010

Coelho, L.D.: Modeling, Simulation and Optimization of Optical Communication Systems using Advanced Modulation Formats. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr. Hut, München, Dec. 2010

LNT

LÜT



LNT

Göbel, B.: Information-theoretic Aspects of Fiber-optic Communication Channels. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr. Hut, München, Nov. 2010

8.3 Zeitschriftenbeiträge

Ahmed, A.; Kötter, R.; Shanbhag, N.R.: VLSI Architectures for Soft-Decision Decoding of Reed-Solomon Codes. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 57, no. 2, pp. 648–667, Mar. 2011

Essiambre, R.-J.; Foschini, G.J.; Kramer, G.; Winzer, P.J.: Capacity Limits of Information Transmission in Optically-routed Fiber Networks. – In: *Bell Labs Technology Journal*, vol. 14, no. 4, pp. 149–162, Dec. 2010

Göbel, B.; Essiambre, R.-J.; Kramer, G.; Winzer, P.J.; Hanik, N.: Calculation of Mutual Information for Partially Coherent Gaussian Channels with Applications to Fiber Optics. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 9, pp. 5720–5736, Oct. 2011

Hausl, C.; İşcan, O.; Rossetto, F.: Resource Allocation for Asymmetric Multi-Way Relay Communication over Orthogonal Channels. – In: *Proc. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Dec. 2011

Karout, J.; Kramer, G.; Kschischang, F.R.; Agrell, E.: A Two-dimensional Signal Space for Intensity-modulated Channels. – In: *Proc. IEEE Communication Lett.*, vol. 16, no. 9, pp. 1361–1364, Sept. 2012

Kötter, R.; Ma, J.; Vardy, A.: The Re-Encoding Transformation in Algebraic List-Decoding of Reed-Solomon Codes. – In: *IEEE Transaction on Information Theory*, vol. 57, no. 2, p. 633–647, Mar. 2011

Kötter, R.; Effros, M.; Médard, M.: A Theory of Network Equivalence – Part I: Point-to-Point Channels. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 57, no. 2, pp.972–995, Mar. 2011

Kramer, G.: Teaching IT: An Identity for the Gelfand-Pinsker Converse. – In: *IEEE Inf. Theory Society Newsletter*, vol. 61, no. 4, pp. 4–6, Dec. 2011

Kramer, G.; Tabatabaei Yazdi, S.M.S.: Network Coding for Line Networks with Broadcast Channels. – In: *Entropy*, vol. 14, no. 10, pp. 1813–1828, Sept. 2012

Kschischang, F.R.; Lutz, T.: A Constrained Coding Approach to Error-Free Half-Duplex Relay Networks. – Accepted for publication In: *IEEE Transactions on Information Theory*.

Lechner, G.; Pedersen, T.; Kramer, G.: Analysis and Design of Binary Message Passing Decoders. – In: *IEEE Trans. Communications*, vol. 60, no. 3, pp. 601–607, Jan. 2011

Liang, Y.; Kramer, G.; Poor, H.V.: On the Equivalence of two Achievable Regions for the Broadcast Channel. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 1, pp. 95–100, Feb. 2011

Liva, G.; Kissling, C.; Hausl, C.: A Simple Coded ARQ for Satellite Broadcasting. – In: *Journal of Communications and Networks*, pp. 577–581, Dec. 2010

Lutz, T.; Hausl, C.; Kötter, R.: Bits Through Deterministic Relay Cascades with Half-Duplex Constraint. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 58, no. 1, pp. 369–381, Jan. 2012

Sankar, L.; Kramer, G.; Mandayam, N.B.: Dedicated-Relay vs. User Cooperation in Time-Duplexed Multiaccess Networks. – In: *Journal of Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 330–339, Aug. 2011

Shang, X.; Chen, B.; Kramer, G.; Poor, H.V.: Capacity Regions and Sum-Rate Capacities of Vector Gaussian Interference Channels. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2010, vol. 56, no.10, pp. 5030–5044, Oct. 2010

Shang, X.; Chen, B.; Kramer, G.; Poor, H.V.: Noisy-Interference Sum-Rate Capacity of Parallel Gaussian Interference Channels. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 1, pp. 210–226, Feb. 2011

Tabatabaei Yazdi, S.M.S.; Savari, S.A.; Kramer, G.: Network Coding in Node-Constrained Line and Star Networks. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 7, pp. 4452–4468, Aug. 2011

Traskov, D.; Heindlmaier, M.; Médard, M.; Kötter, R.: Scheduling for Network-Coded Multicast. – In: *Proc. IEEE/ ACM Transactions on Networking*, 2012

Wen, C.; Xiaodai, D.; Pingyi, F.; Hausl, C.; Li, J.T.; Popovski, P.; Meixia, T.: Physical-Layer Network Coding for Wireless Cooperative Networks. – In: *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Introduction to Special Issue*, Oct. 2010

Whiting, P.; Kramer, G.; Nuzman, C.; Ashikhmin, A.; van Wijngaarden, A.J.; Zivkovic, M.: Analysis of Inverse Crosstalk Channel Estimation using SNR Feedback. – In: *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 59, no. 3, pp. 1102–1115, Apr. 2011

Zeitler, G.; Kramer, G.; Singer, A.C.: Bayesian Parameter Estimation using Single-bit Dithered Quantization. – In: *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, no. 6, pp. 2713–2726, June 2012

Zeitler, G.: Singer, A.C.; Kramer, G.: Low-precision A/D Conversion for Maximum Information Rate in Channels with Memory. – In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 9, pp. 2511–2521, Sept. 2012

Adhikari, S.; Inan, B.; Karakaya, O.; Rosenkranz, W.; Jansen, S.L.: FFT Optimization for Practical OFDM Implementations. – In: *ECOC proceedings*, Sept. 2011

Gaete, O.; Coelho, L.D.; Spinnler, B.: Performance of Stereo Multiplexing in Single Channel and DWDM Systems using Direct Detection with Optimum Dispersion Maps. – In: *Journal of Networks*, vol.7, no.5, June 2012

Göbel, B.; Essiambre, R.-J.; Kramer, G.; Winzer, P.J.; Hanik, N.: Calculation of Mutual Information for Partially Coherent Gaussian Channels with Applications to Fiber Optics. – In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 9, pp. 5720–5736, Oct. 2011

Inan, B.; Adhikari; S.; Karakaya; O.; Kainzmaier; P.; Mocker; M.; von Kirchbauer; H.; Hanik; N.; Jansen, S.L.: Real-time 93.8-Gb/s Polarization-multiplexed OFDM Transmitter with 1024-Point IFFT. – In: *Optics Express*, vol. 19, no. 26, pp. B64–B68, Dec. 2011



LÜT



LNT

Inan, B.; Jansen, S.L.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; van den Borne, D.; Kuschnerov, M.; Lobato, A.; Adhikari, S.; Sleiffer, V.; Hanik, N.: DSP Requirements for MIMO Spatial Multiplexed Receivers. – In: *Proc. IEEE Summer Topicals*, July 2012

Inan, B.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; van den Borne, D.; Lobato, A.; Adhikari, S.; Sleiffer, V.; Kuschnerov, M.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: DSP Complexity of Mode-Division Multiplexed Receivers. – In: *Optics Express*, vol. 20, issue 10, pp. 10859–10869, 2012

Jansen, S.L.; Adhikari, S.; Inan, B.; van den Borne, D.: Application Scenarios for Optical OFDM. – In: *Proc. Signal Processing in Photonic Communications (SPPCom)*, July 2010

8.4 Beiträge in Tagungsbänden

Bittl, S.; Hausl, C.; İşcan, O.: Experimental Evaluation of a Robust MAC Protocol for Network Coded Two-Way Relaying. – In: *Proc. Workshop on Network Coding Applications and Protocols 2011*, Valencia, Spain, June 2011

Böcherer, G.; Altenbach, F.; Alvarado, A.; Corroy, S.; Mathar, R.: An Efficient Algorithm to Calculate BICM Capacity. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Boston, July 2012

Brauchle, J.: On Efficient Recovery of Erased Symbols in Generalized Reed-Solomon Codes. – In: *Proc. International Conference on Communications (ICC) 2011*, Kyoto, Japan, June 2011

Dierks, S.; İşcan, O.; Hausl, C.: Network Coding Schemes for the Multiple-Access Relay Channel. – In: *Proc. 5th International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (Value Tools)*, Paris, France, June 2011

Dietl, G.; Bauch, G.; Widmer, J.; Sciora, M.; Zeitler, G.: A Quantize-and-Forward Scheme for Future Wireless Relay Networks. – In: *Proc. IEEE 74th Vehicular Technology Conference (VTC Fall 2011)*, San Francisco, USA, Oct. 2011

Duyck, D.; Capirone, D.; Heindlmaier, M.; Moeneclay, M.: Towards Full-Diversity Joint Network-Channel Coding for Large Networks. – In: *Proc. of European Wireless Conference 2011*, Vienna, Austria, Apr. 2011

Feilen, M.; Stolz, L.; Hausl, C.; Stechele, W.: Improving the Performance of Digital Radio Mondiale Plus (DRM+) by LDPC Channel Coding. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting 2011*, Nürnberg, Germany, July 2011

Fong, S. L.; Yeung, R.W.; Kramer, G.: Cut-set Bound for Generalized Networks. – In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT 2012*), Boston, MA, USA, July 2012

Ghozlan, H.; Kramer, G.: Interference Focusing for Simplified Optical Fiber Models with Dispersion. – In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory 2011*, Saint Petersburg, Russia, Sept. 2011

Heindlmaier; M.; İşcan; O.; Böhnke; R.; Hausl, C.: On Optimized Memoryless Relaying Functions for the Two-Way Relay Channel. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2012)*, Paris, France, Aug. 2012

Heindlmaier, M.; Lun, D.S.; Traskov, D.; Médard, M.: Wireless Inter-Session Network Coding – An Approach using Virtual Multicasts. – In: *Proc. International Conference on Communications (ICC 2011)*, Kyoto, Japan, June 2011

Hou, J.; Kramer, G.: Short Message Noisy Network Coding for Multiple Sources. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory*, Boston, MA, USA, July 2012

İşcan, O.; Heindlmaier, M.; Hausl, C.: Network Coded Two-way Relaying with Reduced Relay Complexity. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, Aachen, Germany, Dec. 2011

İşcan, O.; Hausl, C.: Iterative Network and Channel Decoding for the Relay Channel with Multiple Sources. – In: *Proc. IEEE 74th Vehicular Technology Conference*, San Francisco, CA, USA, Oct. 2011

Karout, J.; Kramer, G.; Kschischang, F.R.; Agrell, E.: Continuous-amplitude Modulation for Optical Wireless Channels. – In: *Proc. IEEE Phot. Soc. Summer Topical Meetings*, Seattle, WA, USA, July 2012

Kramer, G.: Networks with In-block Memory. – In: *Proc. IEEE Information Theory Workshop*, Lausanne, Switzerland, Sept. 2012

Kramer, G.; Hou, J.: On Message Lengths for Noisy Network Coding. – In: *Proc. IEEE Inf. Theory Workshop*, Paraty, Brazil, Nov. 2011

Kramer, G.; Hou, J.: Short-Message Quantize-Forward Network Coding. – In: *Proc. 8th Int. Workshop on Multi-Carrier Systems & Solutions*, Herrsching, Germany, June 2011

Kulkarni, A.; Heindlmaier, M.; Traskov, D.; Montpetit, M.J.; Médard, M.: An Implementation of Network Coding with Association Policies in Heterogeneous Networks. – In: *Proc. NC-Pro, NETWORKING Workshops*, May 2011

Narasimha, R.; Zeitler, G.; Shanbhag, N.; Singer, A.C.; Kramer, G.: System-driven Metrics for the Design and Adaptation of Analog to Digital Converters. – In: *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Proc.*, Kyoto, Japan, Mar. 2012

Song, X.; İşcan, O.: Network Coding for the Broadcast Rayleigh Fading Channel with Feedback. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2012)*, Boston, USA, Aug. 2012

Thakur, M.; Médard, M.: On Optimizing Low SNR Wireless Networks using Network Coding. – In: *Proc. Globecom* 2010, Miami, FL, USA, Dec. 2010

Thakur; M.; Fawaz; N.; Médard, M.: On the Geometry of Wireless Network Multicast in 2-D. – In: *Proc. ISIT 2011, St. Petersburg*, Russia, Sept. 2011

Thakur; M.; Fawaz; N.; Médard, M.: Optimal Relay Location and Power Allocation for Low SNR Broadcast Relay Channels. – In: *Proc. INFOCOM 2011*, Shanghai, China, Apr. 2011

Thakur; M.; Fawaz; N.; Médard, M.: Reducibility of Joint Relay Positioning and Flow Optimization Problem. – In: *Proc. ISIT 2012*, Boston, USA, July 2012

Timo, R.; Grant, A.; Kramer, G.: The Rate-Distortion Function for Source Coding with Complementary Side Information. – In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory, St. Petersburg*, Russia, Sept. 2011





LÜT

Wachter-Zeh A.; Stinner M.; Bossert M.: Efficient Decoding of Partial Unit Memory Codes of Arbitrary Rate. – In: *Proc. ISIT*, Cambridge, MA, USA, July 2012

Zeitler, G.: Low-Precision Analog-to-Digital Conversion and Mutual Information in Channels with Memory. – In: *Proc. 48th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, Monticello, VA, USA, Oct. 2010

Zeitler, G.; Singer, A.C.; Kramer, G.: Low-Precision A/D Conversion for Maximum Information Rate in Channels with Memory. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2011)*, St. Petersburg, Russia, Sept. 2011

Adhikari, S.; Inan, B.; Karakaya, O.; Rosenkranz, W.; Jansen, S.L.: FFT Optimization for Practical OFDM Implementations. – In: *Proc. ECOC proceedings*, Oct. 2011

Adhikari, S.; Sygletos, S.; Ellis, A. D.; Inan, B.; Jansen, S. L.; Rosenkranz, W.: Enhanced Self-Coherent OFDM by the Use of Injection Locked Laser. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC)*, Los Angeles, USA, CA, Apr. 2012

Adhikari, S.; Kuschnerov, M.; Jansen, S.; Lobato, A.; Gaete, O.; Inan, B.; Rosenkranz, W.: Spectral Shaping on DFT-OFDM for Higher Transmission Reach. – In: *Proc. Signal Processing in Photonics Communications (SPP-Com) Topical Meeting*, Colorado Springs, USA, July 2012

Adhikari, S.; Jansen, S.L.; Alfiad, M; Inan, B.; Lobato, A.; Sleiffer, V.A.J.M; Rosenkranz, W.: Self-Coherent Optical OFDM, an Interesting Alternative to Direct or Coherent Detection. – In: *Proc. ICTON*, Stockholm, Sweden, July 2011

Adhikari, S.; Jansen, S.L.; Kuschnerov, M.; Inan, B.; Rosenkranz, W.: Analysis of Spectrally Shaped DFTS-OFDM for Fiber Nonlinearity Mitigation. – In: *Proc. European Conference on Optical Communi-cation (ECOC)*, Tu.4. C.1, Sept. 2012

Chen, Y.; Adhikari, S.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Pilot-aided Sampling Frequency Offset Compensation for Coherent Optical OFDM. – In: *Proc. Optical Fiber Communications Conference (OFC)*, Los Angeles, CA, USA, Apr. 2012

Coelho, L.D.: Global Optimization of Optical Communication Systems using Four-Dimensional Modulation Formats. – In: *Proc. ITG Workshop on Modeling and Simulation of Optical Communication Systems*, Dortmund, Germany, Mar. 2011

Coelho, L.; Hanik, N.: Global Optimization of Fiber-Optic Communication Systems using Four-Dimensional Modulation Formats. – In: *Proc. European Conference and Exposition on Optical Communications (ECOC 2011)*, Geneva, Switzerland, Oct. 2011

Gaete, O.; Coelho, L.D.; Spinnler, B.; Hanik, N.: Pulse Shaping using the Discrete Fourier Transform for Direct Detection Optical Systems. – In: *Proc. 13th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2011)*, Stockholm, Sweden, July 2011

Gaete, O.; Jalloul, H. Coelho, L.D.; Spinnler, B.; Hanik, N.: Transmission of 111 Gb/s on a 50 GHz Grid using Single Polarization, Direct Detection and Digital Subcarrier Multiplexing. – In: *Proc. Optical Fiber Communications Conference (OFC 2011)*, Los Angeles, CA, USA, Apr. 2011

Inan, B.; Adhikari, S.; Karakaya, O.; Kainzmaier, P.; Mocker, M.; von Kirchbauer, H.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Realization of a Real-Time 93.8-Gb/s Polarization- Multiplexed OFDM Transmitter with 1024-Point IFFT. – In: *Proc. Optical Fiber Communications Conference (OFC)*, Los Angeles, CA, USA, Mar. 2011

Inan, B.; Adhikari, S.; Karakaya, O.; Kainzmaier, P.; Mocker, M.; von Kirchbauer, H.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Realization of a Real-Time 93.8-Gb/s Polarization-Multiplexed OFDM Transmitter with 1024-Point IFFT. – In: *ECOC proceedings*, Geneva, Switzerland, We.9.A.7, Oct. 2011

Inan, B.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; van den Borne, D.; Adhikari, S.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Complexity Analysis for Higher Order Few Mode Fiber DSP Equalizers. – In: *Proc. 38th European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Amsterdam, The Netherlands, Sept. 2012

Inan, B.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; Lobato, A.; Adhikari, S.; Sleiffer, V.; van den Borne, D.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Equalizer Complexity of Mode Division Multiplexed Coherent Receivers. – In: Proc. *Optical Fiber Conference (OFC)*, OW3D.4, Mar. 2012

Inan, B.; Spinnler, B.; van den Borne, D.; Filipe Ferreira, F.; Lobato, A.; Adhikari, S.; Sleiffer, V.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Equalizer Complexity of Modedivision Multiplexed Coherent Receivers. – In: *Proc. International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, July 2012

Inan, B.; Spinnler, B.; Ferreira, F.; van den Borne, D.; Adhikari, S.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Complexity Analysis for Higher Order Few Mode Fiber DSP Equalizers. – In: *Proc. European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Th.2.D.5, Sept. 2012

Jansen, S.L..; Lobato, A.; Adhikari, S.; Inan, B.; van den Borne, D.: OFDM for Ultra-high Capacity Long-haul Transmission Applications. – In: *Proc. 15th Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, Bologna, Italy, Nov. 2011

Karakaya, O.; Inan, B.; Spinnler, B.; Kainzmaier, P.; Hanik, N.; Jansen, S.L.: Computationally Efficient Hardware Design of RF-Pilot Tone based Phase Noise Compensation for Optical OFDM. – In: *Proc. IEEE Photonics Conference (IPC 2011)*, Arlington, VA, USA, ThD3, Nov. 2011

Lobato, A.; Inan, B.; Adhikari, S.; Jansen, S. L.: On the Efficiency of RF-Pilot-Based Nonlinearity Compensation for CO-OFDM. – In: *Proc. Optical Fiber Communications Conference (OFC)*, Los Angeles, CA, USA, OThF2, Mar. 2011

Lobato, A.; Ferreira, F.; Inan, B.; Kuschnerov, M.; van den Borne, D.; Jansen, S. L.; Spinnler, B.; Lankl, B.: The Impact of Differential Mode Delay on Mode-Division Multiplexed Coherent Optical OFDM Transmission. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC)*, Los Angeles, CA, USA, OTu2C.2, Apr. 2012

Sleiffer, A.; Jung, Y.; Inan, B.; Chen, H.; van Uden, R.G.; van den Borne, D.; Jansen, S.L.; Veljanovski, V.; Koonen, A.M.J.; de Waardt, H.; Richardson, D.J.; Alam, S.; Corbett, B.; Winfield, R.; Ellis, A.; Kuschnerov, M.: Modemultiplexed 3x112-Gb/s DP-QPSK Transmission over 80 km Few-mode Fiber with Inline MM-EDFA. – In: *Proc. European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Tu.1.C.2, Sept. 2012





LNT

LNT

Sleiffer, V.; Jung, Y.; Veljanovski, V.; van Uden, R.G.H.; Kuschnerov, M.; Kang, Q.; Grüner-Nielsen, L.; Sun, Y.; Richardson, D.J.; Alam, S.; Poletti, F.; Sahu, J.K.; Dhar, A.; Chen, H.; Inan, B.; Koonen, A.M.J.; Corbett, B.; Winfield, R.; Ellis, A.D.; de Waardt, H.: 73.7 Tb/s (96x3x256-Gb/s) Mode-Division-multiplexed DP-16QAM Transmission with Inline MMEDFA.— In: Proc. *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Th.3.C.4., Sept. 2012

8.5 Patente

Ashikhmin, A.; Chow, H.; van Wijngaarden, A.; Hellenthal, J.; Jennen, J.; Kramer, G.; Posthuma, C.; van Tellingen, H.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Methods and Apparatus for Providing Synchronization in a Multi-Channel Communication System. – In: U.S. patent 7,860,044, Dec. 2010

Guenach, M.; Kramer, G.; Louveaux, J.; Maes, J.; Peeters, M.; Vandendorpe, L.; Verlinden, J.; Whiting, P.; Ysebaert, G.; Zivkovic, M.: Determining Channel Matrices by Correlated Transmissions to Different Channels. – In: U.S. patent 7,830,978, Nov. 2010

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 B2, Jan. 2012

Kramer, G.; Nuzman, C.J.: Simultaneous Estimation of Multiple Channel Coefficients using a Common Probing Sequence.—In: U.S. patent 8,218,419 B2, July 2012

Kramer, G.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Determining a Channel Matrix by Measuring Interference. – In: U.S. patent 7,843,990 B2, Nov. 2010, European patent EP2156632, Aug. 2011

Nuzman, C.; van Wijngaarden, A.; Whiting, P.; Maes, J.; Kramer, G.; Chow, H.; Ashikhmin, A.: Device and Associated Method for Crosstalk Estimation. – In: U.S. patent 8,018,868, Sept. 2011, European patent EP2136477, Aug. 2011

van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Nuzman, C.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Method and Apparatus for Self-tuning Precoder. – In: U.S. patent 8,081,560, Dec. 2011

8.6 Vorträge, Präsentationen und Technical Reports

Brauchle, J.: On Efficient Erasure Recovery for Generalized Reed–Solomon Codes. Bell Labs, Alcatel-Lucent Stuttgart, Deutschland, 18.03.2011

Hagenauer, J.: Drei Professoren der Nachrichtentechnik im Dritten Reich. TUM, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 14.12.2010

Hagenauer, J.: Anpassung, innere Emigration und Widerstand. Drei Nachrichtentechniker im Dritten Reich. Vortragsreihe "Highlights der Forschung", TUM, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 15.11.2011

Hausl, C.: Satellitenkommunikation mit Netzcodierung. Zwischenvortrag zur Habilitation, Fakultät EI, TU München, 23.01.2012

Heindlmeier, M.: Inter-Session Network Coding – An Approach using Virtual Multicasts. Arbeitstreffen mit Mitarbeitern der Universität Ulm, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 02.11.2010

Kramer, G.: Analysis and Design of Binary Message Passing Decoders. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Stuttgart, Germany, 23.11.2010

Kramer, G.: Analysis and Design of Binary Message Passing Decoders. Universität der Bundeswehr, München, Germany, 24.01.2011

Kramer, G.: Information. TUM Institute for Advanced Study (IAS), Garching, Germany, 03.02.2011

Kramer, G.: Refinements of Interference Focusing for Simplified Optical Fiber Models. Inf. Theory Appl. Workshop, UCSD, CA, USA, 07.02.2011

Kramer, G.: Cooperative Communications via Compress-Forward. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Stuttgart, Germany, 21.02.2011

Kramer, G.: Low-Density Parity-Check Codes and Message Passing Algorithms. Tutorial, OFC, Los Angeles, CA, USA, 09.03.2011

Kramer, G.: Capacity of Multi-access Channels with Feedback. Mini-Workshop on Trees, Information, and Algorithms, Oberwolfach, Germany, 25.04. 2011

Kramer, G.: Communications from TUM. Impulsreferat bei der Festveranstaltung zur Verleihung der Alexander von Humboldt-Professur, Berlin, Germany, 12.05.2011

Kramer, G.: Mehr Information durch Kooperative Kommunikation. Vodafone Test & Innovation Center, Düsseldorf, Germany, 16.05.2011

Kramer, G.: Information Networks and Cooperative Communications. Humboldt Lecture, TU München, Germany, 01.06.2011

Kramer, G.: Cooperative Communications via Quantize-Forward Network Coding. DOCOMO Communications Labs, München, Germany, 10.06.2011

Kramer, G.: Cooperative Communications via Quantize-Forward. Network Coding. DLR, Oberpfaffenhofen, Germany, 17.06.2011

Kramer, G.: Noisy and Noisier Network Coding. Panel Talk, 2011 IEEE CTW, Sitges, Spain, 20.06.2011

Kramer, G.: Message Lengths for Noisy Network Coding. BIRS Workshop on Algebraic Structure in Network Information Theory. Banff, AB, Canada, 16.08.2011

Kramer, G.: Interference Focusing for Simplified Optical Fiber Models with Dispersion. Chalmers University, Gothenburg, Sweden, 28.09.2011

Kramer, G.: Information Networks and Cooperative Communications. ACCESS Distinguished Lecture, KTH, Stockholm, Sweden, 29.09.2011

Kramer, G.: Informations-Netzwerke und Kooperative Kommunikation. ITG Fachausschuss 5.1 Meeting, Erlangen, Germany, 07.10.2011

Kramer, G.: Wie wird aus Entropie Information?. Unitag, TU München, Germany, 20.01.2012

Kramer, G.: Identity for the Gelfand-Pinsker Converse. Information Theory Applied Workshop, University California, San Diego, CA, USA, 06.02.2012





Kramer, G.: Variations on Quantize-Forward Relaying. University of Erlangen-Nürnberg, Germany, 09.02.2012

Kramer, G.: Message Lengths for Noisy Network Coding. Disting. UMIC Lecture, RWTH Aachen, Germany, 13.02.2012

Kramer, G.: Progress on Relaying and Noisy Network Coding. Plenary Talk, Int. Zürich Seminar, Switzerland, 29.02.2012

Kramer, G.: Discrete Networks with In-Block Memory. Workshop on Information Theory and Coding for Cooperative Networks, Paris, France, 26.03. 2012

Kramer, G.: Channel Estimation with Single-Bit Dithered Quantization. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Stuttgart, Germany, 02.04.2012

Kramer, G.: Channel Estimation with Single-Bit Dithered Quantization. 3rd Nordic Workshop on System & Network Optimization for Wireless (SNOW), Trysil, Norway, 10.04.2012

Kramer, G.: Analysis and Design of Binary Message Passing Decoders. TUM Walter Schottky Institut, Garching, Germany, 24.04.2012

Kramer, G.: Capacity of Optically-Routed Fiber Networks and Signaling Methods. TUM Institute for Advanced Study General Assembly, Schloss Hohenkammer, Germany, 26.04.2012

Kramer, G.: Quantizing and Hashing for Relay-Network Coding. 6th Workshop on Advanced Information Processing for Wireless Communication Systems, Copenhagen, Denmark, 01.06.2012

Kramer, G.: Progress on Digital Network Coding, Plenary Talk. SYTACom Summer School, McGill University, Montreal, Canada, 15.06.2012

Kramer, G.: Networks with in-Block Memory. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Stuttgart, Germany, 25.06.2012

Kramer, G.: Networks with in-Block Memory. Boston University, Boston, MA, USA, 30.06.2012

Kramer, G.: Bits, Codes, Entropy and Information. Humboldt-Siemens Meeting, Munich, Germany, 12.07.2012

Kramer, G.: Information Networks with in-Block Memory. University of South Australia, Adelaide, Australia, 31.07.2012

Thakur, M.: On Low SNR Wireless Networks. Arbeitstreffen mit Mitarbeitern der Universität Ulm, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 02.11.2010

Traskov, D.: Asynchronous Network Coded Multicast. Arbeitstreffen mit Mitarbeitern der Universität Ulm, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, 02.11 2010

Coelho, L.D.: Global Optimization of Optical Communication Systems using Four-Dimensional Modulation Formats. Modellierung photonischer Komponenten und Systeme, TU Dortmund, 01.02.2011

Gaete, O.: Un algoritmo para la optimización global de sistemas punto-apunto de comunicación por fibra óptica. 3er Workshop Proyecto Anillo ACT-

LÜT

88 on Mathematical Modelling with Industrial and Management Science Applications. Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile, 12.04.2011

Goebel, B.: Fiber-optic Communication Channels: Modulation, Capacity and Coding. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Holmdel Crawford Hill, NJ, USA, 08.10.2010

Goebel, B.: Fundamental Limits of Fiber-optic Communication Channels. Bell Labs, Alcatel-Lucent, Stuttgart, Germany, 18.11.2010

Hanik, N.: Polarisations-Modendispersion in optischen Übertragungssystemen. Christian-Albrechts-Universität, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik und Übertragungstechnik, Kiel, Germany, 10.06.2011

Hanik, N.: Anwendung der Informationstheorie zur Berechnung der Übertragungskapazität optischer Systeme. Workshop der ITG Fachgruppe "Modellierung und Simulation photonischer Komponenten und Systeme", Nürnberg, Germany, 05.07.2012



9 Veranstaltungen

9.1 Verleihung der Alexander von Humboldt-Professuren Berlin, 12. Mai 2011

Norbert Hanik und Günter Söder

The Alexander von Humboldt Professorship is the highest-valued international research award in Germany and was first granted in 2008. The award is financed by the Federal Ministry of Education and Research through the International Research Fund for Germany, and it enables scientists from abroad to carry out long-term and ground-breaking research at universities and research institutions in Germany. The award provides 3.5 million Euro for theoretical scientists and 5 million Euro for experimental scientists over a five-year period.

One of the eight Humboldt laureates in 2010 was Prof. Gerhard

Kramer, who was appointed head of the Institute for Communications Engineering (LNT) of TUM at the same time. He is the second Humboldt Professor of TUM and the first in the field of Electrical Engineering.

The award ceremony took place in the "Hauptstadtrepräsentanz" of the Deutsche Telekom AG in Berlin. In his welcoming speech Professor Helmut Schwarz, President of the Alexander von Humboldt Foundation, emphasized the importance of this award for Germany as a scientific and industrial location. He reminded the audience that the Alexander von Humboldt Foundation has grown to a worldwide network with more than

- 9.1 Verleihung der Alexander von Humboldt-Professuren, Berlin, 12. Mai 2011
- 9.2 Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2010, Düsseldorf, 16. Mai 2011
- 9.3 TUM Communications Symposium, München, 1. Juni 2011
- 9.4 Verabschiedung von Klaus Eichin und Günter Söder, München, 24. Juni 2011
- 9.5 Festkolloquium und Feier zum 70. Geburtstag von Professor Joachim Hagenauer, München, 21./22. Juli 2011
- 9.6 Feierliche Enthüllung des Ralf-Kötter-Epitaphs, München, 2. Februar 2012
- 9.7 Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises, Kronberg im Taunus, 21. April 2012
- 9.8 1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information, München, 6.—8. Mai 2012



Gerhard Kramer mit Staatssekretärin Quennet-Thielen, TUM-Präsident Herrmann und AvH-Präsident Schwarz. Fotos: Humboldt-Stiftung/David Ausserhofer.



24000 scientists in more than 130 countries – among them 49 Nobel prize winners.

The high relevance of the Alexander von Humboldt Professorship is likewise expressed in the brochure *Top Researchers of Germany 2010*. We are grateful for the permission to print the words of greetings from Prof. Schwarz and Prof. Schavan.

The next speaker was Cornelia Quennet-Thielen, State Secretary at the Federal Ministry of Education and Research, who spoke in place of the German Federal Minister, Prof. Dr. Annette Schavan, who was unable to attend.

The laudation for Gerhard Kramer was given by President Prof. Dr. Wolfgang A. Herrmann from TUM. He

Words of Greeting in "Top Researchers of Germany 2010"

The Alexander von Humboldt Professorship is one of Germany's most important research awards. Once again, the award programme has paved the way for top researchers to pursue their groundbreaking research at universities and research institutes in Germany on a long-term basis, this year in physics, philosophy, psycholinguistics and information theory/engineering.

With its award sum of up to five million euros, the Alexander von Humboldt Professorship is the most valuable international research award in Germany. It is funded by the Federal Ministry of Education and Research and facilitates the development of sustainably strong teams of excellent junior research-

The goals we have set ourselves with the Alexander von Humboldt Professorship are ambitious: not only do we want to recruit internationally eminent scientists and scholars to continue their careers in Germany and smooth the path for German universities to join the vanguard of academic excellence; the award is also designed to change structures. And we are being successful on both counts. The universities are compiling persuasively attractive packages and have discovered how to overcome structural obstacles. This is clearly demonstrated by the award winners and successful universities presented in this brochure. The Humboldt Professors will have a decisive impact on driving research and the strategic focus of their universities in Germany.

ers at German universities. The universities commit themselves to integrating the researchers and their teams in a strategic concept that offers the award winners long-term prospects for conducting research in Germany.

Universities and non-university research institutions in Germany are able to profit from scientific expertise from abroad and vitalise their international collaborations. This new element in the federal government's strategy for internationalising science and research complements the Excellence Initiative by aiming to promote innovative frontier research at universities, enhancing their international visibility and competitiveness.

The Humboldt Professorship, now in its third year, has thus turned into a genuine success story. However, never being satisfied with what has been achieved is part of the way excellent science conceives of its role. Amongst the 21 award winners already in Germany or conducting negotiations, there is only one woman. The majority are German or were relatively closely connected to Germany before they were nominated. A larger percentage of international researchers would send a clear signal to the world that Germany is capable of drawing top researchers even if they do not have close cultural or linguistic ties with the country. This could snowball, extending the spectrum of future candidates and broadcasting to talented junior researchers. The same applies to increasing the propor-

To invigorate universities as places for educating and training junior researchers and make them more attractive to outstanding students and researchers from home and abroad – the influx of foreign students and junior researchers to German universities clearly demonstrates that these aims are being achieved. In this respect, Germany comes in third place worldwide, following the United States and the United Kingdom. The Alexander von Humboldt Professorship ensures that the number of foreign lecturers also continues to grow.

Prof. Dr. Annette Schavan Federal Minister of Education and Research

tion of women. An award with such luminous appeal should certainly be used accordingly. So, this is the message being addressed to German universities when they nominate Humboldt Professors (especially if they are women).

The Humboldt Professorship invests in people, rewards ideas and creativity, and extends trust. It is on the basis of these principles that we have always selected Humboldtians, of whom there are now more than 24,000 in our worldwide network. We are proud that the new Humboldt Professors have become part of this family, and we look forward to working together with them for a long time to come.

Prof. Dr. Helmut Schwarz President of the Alexander von Humboldt Foundation expressed the university's pride in being awarded this Humboldt Professorship. However, he did not forget to point out how fortunate Gerhard Kramer is to be able to pursue his scientific career in such an excellent environment as TUM. After being handed an attractive stele as a symbol of the Humboldt Award, Prof. Kramer expressed his heartfelt gratitude.

Dear Gerhard, on behalf of all members of the Institute for Communications Engineering, the authors of this article likewise express their pride and best wishes for your future, and for our future at LNT.

Seit 2008 werden jährlich bis zu 10 Alexander von Humboldt-Professuren verliehen. Mit diesem höchstdotierten internationalen Preis für Forschung in Deutschland zeichnet die Alexander von Humboldt-Stiftung führende und im Ausland tätige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaft-

ler aller Disziplinen aus. Er soll den Preisträgern ermöglichen, langfristig zukunftsweisende Forschung an deutschen Hochschulen durchzuführen. Für die Finanzierung der ersten fünf Jahre stehen jeweils dreieinhalb Millionen Euro für theoretisch und fünf Millionen Euro für experimentell arbeitende Forscher zur Verfügung. In den fünf Jahren zwischen 2008 und 2012 wurden Humboldt-Professuren an eine Wissenschaftlerin und an 24 Wissenschaftler vergeben.

Einer der 8 Preisträger 2010 war Professor Gerhard Kramer, der im gleichen Jahr an die TU München berufen wurde und die Leitung des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik übernommen hat. Er war der zweite Humboldt-Professor an der TU München und der erste aus dem Bereich der Elektrotechnik. Eine Humboldt-Professur ging 2009 an den Bioinformatiker Burkhardt Rost von der TUM, und 2011 kamen der Informatiker Hans-Arno Jacobsen und der Mediziner Matthias Tschöp als neue



Humboldt-Professoren hinzu. 2011 wurde mit Robert Schober von der Universität Erlangen-Nürnberg zudem ein weiterer Nachrichtentechniker ausgezeichnet.

Die Preisverleihung für 2010 fand am 12.05.2011 in Berlin statt. Schon am Morgen hatte Gerhard Kramer als einer von zwei Preisträgern die Gelegenheit, im Novotel Berlin vor den zahlreich erschienen Pressevertretern über seine Forschungsaktivitäten zu referieren. Anschließend gab es Interviews für die Welt, die Süddeutsche Zeitung und andere renommierte Journale.



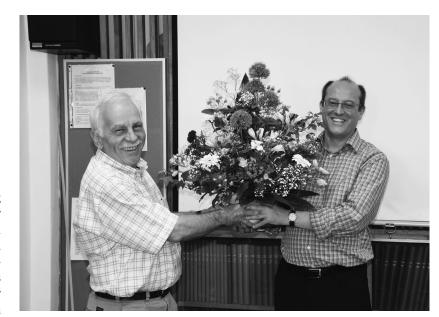
Die acht Alexander von Humboldt-Professoren 2010. Von links: David DiVincenzo (RWTH Aachen, Quantenphysik). Dirk Kreimer (HU Berlin, Mathematische Physik), Hannes Leitgeb (LMU Münchem, Philosophie), Brian Foster (Universität Hamburg, Teilchenphysik), Harald Clahsen (Universität Potsdam, Psycholinguistik), Gerhard Kramer (TU München, Informationstheorie), Vahid Sandoghdar (Universität Erlangen-Nürnberg, Nano-Optik), Alec M. Wodtke (Universität Göttingen, Physikalische Chemie).



Die feierliche Abendveranstaltung in der Hauptstadtrepräsentanz der Deutschen Telekom AG begann im Lichthof mit der Vorstellung der neuen Humboldt-Professoren und der Präsentation ihrer Universitäten. Es wurden Filme über alle Preisträger gezeigt, die im Vorfeld von einem professionellen Team in ihrem privaten und akademischen Umfeld gedreht wurden. Das Gerhard Kramer charakterisierende Video finden Sie unter der URL http://www.humboldtfoundation.de/movies/kramer.mov frei zugänglich im Internet.

Professor Helmut Schwarz, der Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung, ging in seiner Begrüßungsrede auf die große Bedeutung des hier zu vergebenden Preises für den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland ein. Er dankte im Namen aller in der Wissenschaft in Deutschland Tätigen dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dessen Leitung für den visionären Verstand, im Jahr 2008 diesen Preis gestiftet zu haben. Gleichzeitig erinnerte er daran, dass die AvH-Stiftung inzwischen zu einem weltumspannenden Netzwerk mit mehr als 24000 Humboldtianern darunter 49 Nobelpreisträgern - in mehr als 130 Ländern angewachsen

Den Festvortrag hielt Frau Staatssekretärin Cornelia Quennet-Thielen in Vertretung von Bundesministerin Prof. Dr. Annette Schavan, die aufgrund aktueller politischer Ereignisse kurzfristig absagen musste. Die Festrednerin führte einige Gedanken aus, die auch im Grußwort von Frau Prof. Schavan zur AvH-Broschüre "Preisträger 2010 – Spitzenforscher in Deutschland" zur Sprache kommen. Dieses und das Grußwort von AvH-Präsident Schwarz sind auf der



Empfang zu Hause – Dr. Klaus Eichin gratuliert im Namen des gesamten LNT.

vorvorherigen Seite dieses Heftes abgedruckt.

Anschließend wurden die Preise an die acht neuen Humboldt-Professoren durch Frau Staatssekretärin Quennet-Thielen und den AvH-Präsidenten Helmut Schwarz übergeben. Die Laudatio für Gerhard Kramer hielt der TUM-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann. Er brachte den großen Stolz unserer Universität über die Humboldt-Professur zum Ausdruck. vergaß aber auch nicht zu erwähnen, welches Glück Gerhard Kramer hat, seine wissenschaftliche Karriere in einem solch exzellenten Umfeld wie an der Technischen Universität München fortsetzen zu können.

Nach Empfang einer Stele als äußeres Zeichen dieser Auszeichnung durch die Alexander von Humboldt-Stiftung bedankte sich Gerhard Kramer mit folgenden Worten:

"Die Verleihung der Alexander von Humboldt-Professur ist für mich selbstverständlich eine große Freude und Ehre. Ich habe von diesem Preis erst nach den Vorstellungsgesprächen an der Technischen Universität München Ende 2009 erfahren, als Herr Prof. Nossek, der Leiter des Berufungsausschusses, mir davon erzählte. In den Ingenieurwissenschaften ist der Preis international noch nicht so bekannt, aber es scheint mir, zumindest historisch, dass Ingenieure international anerkannte Preise auch

nicht haben oder nicht unbedingt wollten. Nehmen Sie zum Beispiel als imperfekten Vergleich den Nobelpreis oder die Fields Medal. Vielleicht deshalb bedeutet mir auch die Alexander von Humboldt-Professur persönlich viel, hat sie doch meine Entscheidung, meine Arbeit zukünftig in Deutschland weiterzuführen, besonders unterstützt und sogar belohnt

Ich bedanke mich herzlich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung, bei der Alexander von Humboldt-Stiftung, bei der Expertenjury und bei der TU München für das Vertrauen, das sie mir geben. In Nordamerika zumindest ist die Akademische Laufbahn durch drei Eigenschaften ausgezeichnet, nämlich Forschung, Lehre und Dienst. Die Breite der Möglichkeiten, welche die Alexander von Humboldt-Professur mir in alle diese drei Richtungen bietet, ist ein großes Geschenk. Nochmals herzlichen Dank."

Die Autoren dieses Beitrags überbringen im Namen aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter noch einmal die Glückwünsche Deines Lehrstuhls für Nachrichtentechnik. Wir sind alle sehr stolz.

Und: Jede einzelne Mitarbeiterin und jeder Mitarbeiter profitiert durch die monetäre Ausstattung der Humboldt-Professur auch für ihre/seine Forschung enorm.

9.2 Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2010 Düsseldorf, 16. Mai 2011

Rudolf Mathar (RWTH Aachen) und Günter Söder

Professor Gerhard Kramer was awarded the 2011 Vodafone Innovoations Prize for his pioneering research on Information Theory, especially on "Relay Networks". The prize is given annually to outstanding personalities for their seminal contributions to innovations in mobile communications. The award comes with a 25.000 € cash prize.

Gerhard Kramer is the second head of the LNT, who received the prestigious Innovations Prize. Ralf Kötter received the same prize in 2008 in Stuttgart.

Vodafone also awarded two PhD students. The award for the best dissertation in natural and engineering sciences was handed to Dr. Patrick Henkel from the Institute for Communications and Navigation (see Chapter 11). So there were two Vodafone awardees in our N4 building of the Technische Universität München in 2011. Congratulations!

The award ceremony took place on May 16th, 2011, in the Langen Foun-

dation in Düsseldorf-Neuss. Vodafone Deutschland CEO Friedrich P. Joussen, Hannelore Kraft, the prime minister of Nordrhein-Westfalen and Professor Rudolf Mathar from the RWTH Aachen University outlined the scientific significance of Professor Kramer's work in their speeches. Many colleagues and past laureates enjoyed the entertaining and magnificient evening with the appearance of the famous chanson singer Ute Lemper.

Der Vodafone-Innovationspreis 2011 wurde an Professor Gerhard Kramer für seine bahnbrechende Forschung auf dem Gebiet der Informationstheorie verliehen. Mit diesem Preis, der mit 25.000 € dotiert ist, werden jährlich herausragende Persönlichkeiten ausgezeichnet, deren Arbeiten wegweisende Innovationen auf dem Gebiet der Mobilkommunikation ermöglichen.

Die Preisverleihung fand am 16. Mai 2011 in festlichem Rahmen in 9 Veranstaltungen

der Neusser Langen Foundation nahe Düsseldorf statt – einem Kunst- und Ausstellungshaus von Tadao Ando. Zunächst begrüßte die Moderatorin Nina Ruge die zahlreichen hochrangigen Gäste aus Wissenschaft und Wirtschaft. Friedrich P. Joussen, der Vorsitzende der Geschäftsführung von Vodafone Deutschland, betonte in seiner Eröffnungsansprache die Wichtigkeit innovativer Forschung für den wirtschaftlichen Erfolg, nicht nur für das eigene Mobilfunkunternehmen, sondern für den Standort Deutschland insgesamt.

Die herausragende Reputation des Vodafone-Preises erkennt man schon daran, dass stets der höchste Repräsentant des gastgebenden Landes die Festrede hält. Hannelore Kraft, die Ministerpräsidentin von Nordrhein-



Nach Übergabe des Vodafone-Innovationspreises an Gerhard Kramer mit Friedrich Joussen und Hartmut Kremling von der Vodafone-Geschäftsleitung, Ministerpräsidentin Hannelore Kraft, Laudator Rudolf Mathar und Moderatorin Nina Ruge.



stuhl für Kommunikation und Navigation der TUM, der mit LNT und LÜT eine Verwaltungseinheit bildet. Eine besonders hohe Zuverlässigkeit wurde durch eine neue Gruppe von Mehrfrequenzkombinationen erreicht, die sowohl Code- als auch Phasenmessungen auf allen Frequenzen verwenden und damit die Wellenlänge der Mehrdeutigkeiten

den, sondern alle benutzen das Übertragungsmedium in insgesamt optimaler Weise. Dies würde dazu führen, dass jeder einzelne viel mehr Kapazität erhält, als wenn man einfach nur teilt. Ein faszinierendes, völlig neues Paradigma. Stellen Sie sich vor, zehn Leute teilen einen Kuchen untereinander auf und jeder bekommt die Hälfte.



Von links: Gastgeber Friedrich P. Joussen, Festrednerin Hannelore Kraft und Laudator Rudolf Mathar.

Westfalen, brachte ihre Freude zum Ausdruck, dass mal die Forscher in der Öffentlichkeit stehen, wenn auch nur für einen Tag. Bekannt sind sonst nur ihre Endprodukte als das Ergebnis langer innovativer Forschung.

Nach einem ersten kulinarischen Höhepunkt überreichte Hartmut Kremling, Mitglied der Vodafone-Geschäftsleitung, zwei Förderpreise. Der Förderpreis im Bereich Marktund Kundenorientierung ging an Frau Dr. Melanie Krämer (Universität Mannheim). In ihrer Dissertation untersuchte sie, wie sich einfache und komplexe Preissysteme auf Kaufentscheidungen auswirken. Sie lieferte somit einen wichtigen Beitrag zur Marketingforschung.

Der Förderpreis für Natur- und Ingenieurwissenschaften wurde an Dr. Patrick Henkel verliehen, der die Positionsbestimmung via GPS und Galileo weiter entwickelte und neue Algorithmen gefunden hat, mit denen satellitengestützte Navigation zuverlässiger und präziser wird. Dr. Henkel ist Wissenschaftler am Lehr-

signifikant vergrößern. Genauere Einzelheiten zu Henkels Ansatz finden Sie im Beitrag *Absolute träger*basierte Positionierung in Kapitel 11.

Nach einem zweiten kulinarischen und musikalischen Intermezzo wurde der Innovationspreis an Professor Gerhard Kramer übergeben. Die Laudatio hielt Professor Rudolf Mathar, Vodafone-Innovationspreisträger im Jahre 2002. Wir zitieren:

Interferenz ist in der Mobilkommunikation der technische Ausdruck dafür, dass man andere stört. Insbesondere Mobiltelefone sind nicht allein auf der Welt. Also stört jeder jeden anderen, jedenfalls diejenigen in seiner Reichweite. Um viele Benutzer unterzubringen, sind faire Teilungsstrategien des verfügbaren Spektrums nötig; man spricht hier von Orthogonalität.

Wie wäre es denn, wenn nicht jeder auf seinem Teil besteht, sondern vielmehr versucht, anderen zu helfen, sich zumindest mit ihnen zu koordinieren? Dann stört nicht jeder je-

Gerhard Kramer ist einer der Väter dieser Gedanken. Er hat sie konsequent verfolgt und bedeutende wissenschaftliche Beiträge hierzu geleistet. Selbst die einfachsten Probleme sind bei diesem Zugang kompliziert zu modellieren und noch schwerer zu lösen. Das inzwischen international mit viel Energie erforschte Gebiet heißt "Kooperative Kommunikation". Seine bedeutendsten Beiträge möchte ich mit den zugehörigen Fachausdrücken zumindest in den Raum werfen:

- Kooperative Strategien für Relais-Netzwerke, eine Arbeit von 2005 mit 1100 Zitationen,
- Netzwerkcodierung für drahtlose Netze (Engpässe werden durch Kooperation überwunden),
- iterative Decodierung kapazitätserreichender Codes (gemeinsames Medium wird optimal genutzt).

Alle diese Arbeiten besitzen hohe praktische Relevanz. Um in Zukunft den enormen Datenverkehr über mobile Netze bei den nur geringen verfügbaren Frequenzressourcen zu be-



Gerhard Kramer mit den beiden Förderpreisträgern Melanie Krämer und Patrick Henkel.



Gerhard Kramer mit seiner Familie.



Die Preisträger mit Friedrich P. Joussen und Andrea Zinnenlaub von Vodafone.



wältigen, sind fundamental neue Konzepte notwendig. Gerhard Kramer hat durch seine grundlegenden Untersuchungen hierzu wesentlich beigetragen.

Ich möchte meine Laudatio nicht schließen, ohne etwas über die Karriere und den Menschen Gerhard Kramer gesagt zu haben. Gerhards Mutter und Vater sind Deutsche, der Vater wanderte 1951 nach Kanada aus. Gerhard wurde 1970 in Winnipeg geboren, wuchs mit Deutsch auf und lernte Englisch in Kindergarten und Grundschule. Er selbst hat auch die deutsche Staatsangehörigkeit. Seine Schul- und Universitätsausbildung absolvierte er in Winnipeg. 1998 promovierte er an der ETH Zürich bei Jim Massey, einem der bekanntesten Informationstheoretiker unserer Zeit. Anschließend zwei Jahre Consultant in Zürich, danach acht Jahre bei den berühmten Bell Labs in Murray Hill in den USA. 2009 und 2010 war er Professor an der University of Southern California in Los Angeles. Im Oktober 2010 schließlich hatte die Wissenschaft in Deutschland das große Glück, dass er als Alexander von Humboldt-Professor an die TU München gekommen ist. Sein Lebenslauf ist ungewöhnlich und voller Überraschungen. Er zeugt von Neugier, Wissensdurst und Dynamik.

Sein Doktorvater Jim Massey hat auf mein Fragen hin über ihn gesagt: "Gerhard war schon immer neugierig was die Forschung an der ETH Zürich anging, nicht aus Konkurrenzdenken, sondern um zu unterstützen. So entstanden Arbeiten, die nicht in seinem Hauptgebiet liegen, beispielsweise eine faszinierende Arbeit über Verschlüsselung und Kryptographie."

Ich kenne Gerhard Kramer seit einigen Jahren. Da ich noch mehr über ihn erfahren wollte, habe ich mir bei



unserem letzten Treffen ein Interview ausgedacht, und ihn gefragt: "Was würdest Du an der TUM ändern, wenn Dir alle Möglichkeiten offen stünden? "Seine Antwort: "Erst einmal zuhören. "Die zweite Frage war: "Wie willst Du Deinen Lehrstuhl in Zukunft entwickeln? "Gerhard: "Ich bin Nachfolger von Ralf Kötter, dem Vodafone-Preisträger 2008, der leider im Februar 2009 verstorben ist. Er hat die Zukunft geprägt, sie lebt durch seine Doktoranden weiter. Ich führe das fort." Ich habe nie einen Menschen getroffen, der so verantwortungsbewusst denkt und gleichzeitig so bescheiden ist wie er.

Gerhard Kramer wird sich nicht brüsten, der designierte Präsident der IEEE Information Theory So-



Zwei außergewöhnliche Trophäen für Gerhard Kramer innerhalb einer Woche.

ciety und IEEE Fellow zu sein. Er ist es. Für die weniger Eingeweihten in diesem Kreis: die Information Theory Society ist international die bedeutendste wissenschaftliche Gesellschaft in ihrem Gebiet. Er wird es auch nicht zum Gesprächsthema machen, an welchen Universitäten er schon weltweit als Gastprofessor eingeladen war. Und die ihm von der ETH Zürich und den Bell Labs verliehenen Preise und den Stephen-Rice-Preis findet man in seinem Lebenslauf auch nur nach sorgfältigem Suchen.

Lieber Gerhard, als Kollege und Freund bin ich unglaublich froh, dass Du nun in Deutschland Deinen Arbeits- und Lebensmittelpunkt gefunden hast. Deine Ideen und Arbeiten im Bereich der Kommunikation sind von unglaublicher Bedeutung. Ich freue mich riesig, dass Du den Vodafone-Innovationspreis 2011 erhältst. Einen würdigeren Preisträger hätte man nicht finden können.

Soweit die Laudatio von R. Mathar. Friedrich Joussen würdigte Kramers Leistungen: "Seine bahnbrechenden Arbeiten zur Weiterentwicklung der Informationstheorie sind auch praxisrelevant. Sie sind die Grundlage dafür, zukünftige Mobilfunknetze noch leistungsfähiger zu machen."

Der Abend klang mit einem Auftritt der bekannten Chansonette Ute Lemper würdig aus. Nochmals herzlichen Glückwunsch, Gerhard! Auch an Patrick Henkel! Also zwei Vodafone-Preisträger 2011 in unserem Gebäude N4 der TU München.



Gerhard Kramer beim Interview. mit Nina Ruge



Die Chansonsängerin Ute Lemper.

9.3 TUM Communications Symposium München, 1. Juni 2011

Christoph Hausl und Günter Söder

In June 2011 Prof. Gerhard Kramer and Prof. Holger Boche gave their inaugural lectures at a TUM Communications Symposium. After words of welcome from Prof. Wolfgang A. Herrmann, president of TUM, and Prof. Helmut Schwarz, president of the Alexander von Humboldt-Foundation, Prof. Ulf Schlichtmann, dean of our department, gave an overview of the historical development of information and communications engineering at TUM. Prof. Gerhard Kramer gave his lecture on "Information Networks and Cooperative Communications" and considered the following questions:

- What is Information?
- What are Information Networks? Why are they special?
- What is Cooperative Communications?

Prof. Holger Boche's lecture was entitled "Theoretische Informationstechnik – Was sollen wir tun?" and he presented the main research topics of his institute.

"Der von der University of Southern California, USA, kommende Nachrichtentechnikforscher Prof. Gerhard Kramer erhält eine Alexander von Humboldt-Professur an der TU München. Zusammen mit der kürzlich durch ein Leuchtturmverfahren erfolgten Berufung des Telekommunikationsforschers Prof. Holger Boche von der TU Berlin wird die TUM einen in Deutschland einzigartigen Schwerpunkt der Informations- und Kommunikationstechnologie schaffen und damit ein Gegengewicht zu den wissenschaftlichen Zentren dieses Fachgebiets in den USA, der Schweiz und Israel bilden."

Mit diesen Worten unter der Überschrift "Die TU München erhält eine weitere Humboldt-Professur" hat die Universitätsleitung die Öffentlichkeit am 16.06.2010 über die Berufungen von Holger Boche und Gerhard Kramer informiert.

Der Bedeutung für unsere Fakultät angemessen wurden die Antrittsvorlesungen der beiden international



hoch angesehenen Professoren in größerem Rahmen innerhalb eines sogenannten TUM Communications Symposiums gehalten.

Der TU-Präsident Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann begrüßte die beiden Wissenschaftler in ihrem neuen Wirkungsbereich und würdigte ihre bisherigen großen wissenschaftlichen Erfolge. Danach sprach der Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung, Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Helmut Schwarz, ein Grußwort. Der Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Prof. Dr.-Ing. Ulf Schlichtmann, erinnerte an die früheren Erfolge der Informations- und Kommunikationstechnik an der TH bzw. TU München unter Leitung der Professoren Heinke, Piloty, Marko (je 31 Jahre), Hagenauer (13 Jahre) und Kötter (2 Jahre).

Der Titel der 45-minütigen Antrittsvorlesung von Prof. Gerhard Kramer war "Information Networks and Cooperative Communications" mit folgenden Teilfragen:

- What is Information?
- What are Information Networks?Why are they special?
- What is Cooperative Communications?

Prof. Holger Boche nannte drei Arbeitsschwerpunkte des neu geschaffenen Lehrstuhls für Theoretische Informationstechnik (LTI):

- Klassische Informationstheorie, informationstheoretische Sicherheit und Entwurf beweisbarer sicherer Übertragungsverfahren,
- robuste Codierungsverfahren zur Quanteninformationstheorie,
- Signaltheorie, u. a. neue Ansätze zur digitalen Signalverarbeitung.

Der Empfang im Anschluss an das Symposium diente dem gegenseitigen Kennenlernen.



Programm

Grußwort von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann, Präsident der TUM
Grußwort von Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Helmut Schwarz, Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung

Informationstechnik und Kommunikationstechnik an der Fakultät EI der TUM Prof. Dr.-Ing. Ulf Schlichtmann, Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Festvorträge

Humboldt Lecture: Information Networks and Cooperative Communications Prof. Dr. sc. Techn. Gerhard Kramer, Alexander von Humboldt-Professur 2010

Theoretische Informationstechnik – Was sollen wir tun? Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. Holger Boche, Gottfried Wilhelm Leibniz-Preisträger 2008

Im Anschluss an die Festveranstaltung sind alle Teilnehmer zu einem Empfang eingeladen.

Einladung/Programm zu den Antrittsvorlesungen von Prof. Kramer und Prof. Boche.



2011 sind zwei langjährige Mitarbeiter unseres Lehrstuhls aus dem aktiven Dienst ausgeschieden. Anfang April ging Prof. Günter Söder nach Erreichen des 65. Lebensjahres in Ruhestand, seit seiner Diplomarbeit 1973 durchgehend am LNT. Ein halbes Jahr später folgte ihm unser Verwaltungsleiter Dr. Klaus Eichin, der mehr als 40 Jahre am LNT verbracht hat. Im Kastenbeitrag finden Sie die Kurzbiografien der beiden.

Klaus Eichin wurde am 21.09.1946 im badischen Wolfach geboren. Nach Abitur und Wehrdienst studierte er ab 1967 an der Technischen Hochschule München. Mit seiner Diplomarbeit am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) schloss er 1972 sein Studium mit dem Titel Diplom–Ingenieur ab.

Nach nur acht Monaten bei der Siemens AG kehrte K. Eichin im Juli 1973 an den LNT zurück. Seine erste Aufgabe war die Ausbildung von Studierenden des Lehramts an Beruflichen Schulen (LB). Dieser Aufgabenbereich begleitete ihn bis zum Eintritt in den Ruhestand; zum Beispiel hielt er ab 1998 die LB-Vorlesung Kommunikationssysteme.

Hier noch eine kurze Zusammenfassung der vielfältigen Aufgaben von K. Eichin. Ab 1973 entwickelte er zusammen mit seinem späteren Doktorvater Prof. Karlheinz Tröndle ein Lernsystem in Hard- und Software. Promotionsthema war die Signalkorrektur gestörter Analogsignale (1984). Seit dem Beginn der 1990er Jahre forschte Dr. Eichin schwerpunktmäßig auf dem weiten Gebiet Digitaler Mobilfunk. Er baute das Mobilfunklabor auf und organisierte die 100-Jahr-Feier des Lehrstuhls im Jahr 2000.

9.4 Verabschiedung von Klaus Eichin und Günter Söder München, 24. Juni 2011

Norbert Hanik, Klaus Eichin und Günter Söder

Zu ihrer gemeinsamen Ausstandsfeier hatten Klaus Eichin und Günter Söder neben den aktuellen Kollegen auch viele ehemalige LNT-ler eingeladen, mit denen sie seit Anfang der 1970er Jahren zusammengearbeitet hatten. Und es kamen auch viele ihrer mehr als 150 Diplomanden.

Prof. Kramer eröffnete den offiziellen Teil der Verabschiedung und würdigte Klaus und Günter auf der Basis von nur neun gemeinsamen Monaten. Danach überbrachten Prof. Marko und Prof. Hagenauer ihre Glückwünsche, die Chefs der beiden über insgesamt fast 35 Jahre.

Danach erinnerte sich Prof. Norbert Hanik einiger Episoden, die er als Diplomand, langjähriger Kollege und kommissarischer Leiter des LNT mit beiden erlebt hatte. Er schloss seinen Vortrag mit einer Bismarck-Karikatur von 1890, dem Anlass entsprechend modifiziert: "Der Lotse Klaus verlässt das Schiff LNT". Dann sieht man den Maschinisten Günter, der das Schiff am Laufen hält. Schließlich sitzen beide auf einer Bank vor ihrem Veteranen-Heim – erschöpft, aber auch entspannt und den an der TUM allgegenwärtigen Hinweis "Elite" immer im Blick.

Bevor der gemütliche Teil der Feier mit Spanferkel und Fassbier beginnen konnte – geplant auf der LNT-Wiese, wetterbedingt aber doch wieder

Zu erwähnen ist auch das umfangreiche eLearning-Modul *LNTwww* – ein Lerntutorial für die Nachrichten Technik im world wide web, das er gemeinsam mit G. Söder initiierte.

Dr. Eichin hatte viele verantwortungsvolle administrative Aufgaben am Lehrstuhl, seit 2004 fungierte er als LNT-Verwaltungsleiter. Es ist auch sein Verdienst, dass der LNT die schwierige Zeit nach Ralf Kötters Tod gut überbrückt hat.

Zum 30.09.2011 ging Dr. Eichin nach 38 Jahren LNT und 44 Jahren TU München (inklusive Studium) in den Ruhestand, drei Monate nach seinem 40. Dienstjubiläum.

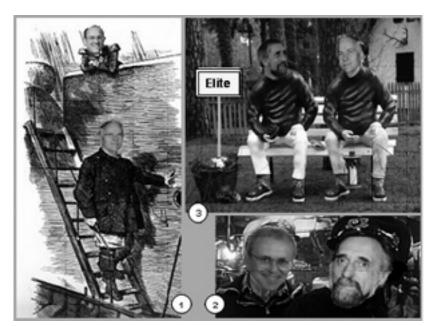
Günter Söder wurde am 21.03.1946 in Nürnberg geboren. Er studierte ab 1964 Elektrotechnik und Informationstechnik am damaligen Ohm–Polytechnikum Nürnberg und an der TH München. Er erhielt folgende akademische Titel: Ing.-grad. (1967), Dipl.-Ing. (1974), Dr.-Ing. (1981) und Dr.-Ing. habil. (1993).

Ab 1974 arbeitete er am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik auf den Fachgebieten *Stochastische Signaltheorie* und *Digitale Übertragungssysteme*, zuletzt als Akademischer Direktor und Außerplanmäßiger Professor. Er hielt verschiedene Vorlesungen und

Praktika zu diesen Themen und war gemeinsam mit Karlheinz Tröndle Autor der Fachbücher Digitale Übertragungssysteme (1985 im Springer-Verlag) und Optimization of Digital Transmission Systems (1987 bei Artech House Inc.). Seine Habilitationsschrift mit dem Titel Modellierung, Simulation und Optimierung von Nachrichtensystemen erschien 1993 in der Reihe Nachrichtentechnik des Springer-Verlags. 1986 wurde ihm der NTG-Preis (jetzt: ITG-Preis) zuerkannt.

Nach seinem Ruhestand zum April 2011 hält G. Söder mit Lehrauftrag weiter zwei Praktika. Daneben widmet er sich den zwei letzten Büchern (von insgesamt 9) des Lerntutorials *LNTwww*. Dieses entstand seit 2001 und präsentiert das Lehrgebiet der Informations- und Telekommunikationstechnik inklusive zugehöriger Grundlagenfächer in didaktisch und multimedial aufbereiter Form.

Prof. Söder beschäftigt sich schon seit fast 30 Jahren intensiv mit der Erstellung von Lernprogrammen. So entstanden die zwei Lehrsoftwarepakete *LNTsim* und *LNTwin*, wofür er 1992 mit dem Deutsch-Österreichischen Hochschul-Software-Preis ausgezeichnet wurde.



Norbert Hanik: Wir wünschen unseren Pensionisten viel Freude und Entspannung ... und den Verbliebenen am LNT viel Glück!

im Praktikumsraum, ergriffen Klaus und Günter die Chance, vor den Gästen ihre Sicht über die vergangenen 40 Jahre auszubreiten. Der Titel ihres einstündigen gemeinsamen Beitrags mit vielen Bildern lautete: "Einige verklärende Erinnerungen an den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik". Lassen wir aber nun die beiden Ruheständler Klaus und Günter selbst zu Wort kommen:

Liebe Ex-Kolleginnen, liebe Ex-Kollegen. Es war für uns eine große

Freude, dass so viele von Euch bzw. von Ihnen unserer Einladung folgten. Von den 130 eingeladenen Gästen waren über 100 gekommen – trotz Pfingstferien und Fenstertag. Wir leiten aus dieser Tatsache schon eine gewisse Wertschätzung unserer Personen ab. Das macht uns stolz.

Vieles von dem, was an diesem Tag über Günter, über Klaus oder über uns beide als Team gesagt wurde, hat wirklich toll geklungen. Selbst wenn man berücksichtigt, dass eine solche Verabschiedung so etwas Ähnliches



wie eine Beerdigung mit lebender Hauptperson ist und man deshalb nicht jedes gesprochene Wort allzu wörtlich nehmen sollte, so war für uns trotzdem viel Anerkennung zu spüren.

Dafür danken wir dem Laudator Norbert Hanik und unseren ehemaligen Chefs Hans Marko, Joachim Hagenauer und Gerhard Kramer. Ebenfalls sehr gefreut hat uns, dass Nuala Kötter mit uns gefeiert hat.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch allen 203 Kolleginnen und Kollegen der letzten 40 Jahre am LNT. Würden wir rückblickend die soziale Kompetenz aller benoten, kämen wir zur Mittelnote "2plus". Unsere Bewertung mit "sehr gut" wäre häufiger als "befriedigend". Die Noten 4 und 5 müssten wir nur ganz wenige Male vergeben.

Wir wünschen Ihnen und Euch allen, am Ende des Berufslebens eine ähnlich erfreuliche Bilanz vorweisen zu können.





Verabschiedung von Dr. Klaus Eichin und Prof. Günter Söder nach jeweils (fast) 40 Jahre am LNT.



Professor Joachim Hagenauer, Head of the Institute for Communications Engineering (LNT) from 1993 to 2006, turned 70 at the end of July 2011. To celebrate his birthday the LNT organized a festive colloquium on July 21, 2011. You can find a short biography of Joachim Hagenauer below, as well as the program of his birthday colloquium.

Professor Gerhard Kramer, the second successor of Joachim Hagenauer, welcomed a large number of guests and friends from all over the world, members of the faculty and the LNT, and many of Professor Hagenauer's students. Professor Hagenauer was "Doktorvater" to 40 students from 1990 to 2010.

Talks highlighting Professor Hagenauer's life, personality, and achievements were given by:

- Professor Daniel J. Costello from the University of Notre Dame,
- Professor John G. Proakis from the Northeastern University,
- Professor Ezio Biglieri from the University of California,
- Professor Sergio Verdú from the Princeton University,
- Professor Hans-Andrea Loeliger from the ETH Zurich,
- Dr. Gottfried Ungerböck, formerly at IBM Zurich Research Lab,
- Professor Anthony Ephremides from the University of Maryland.
 Joachim Hagenauer worked together with all of them closely, with some of them already in the 1980ies as Head of the Institute for Communications Technology at DLR.

The talks were in part reflective, humerous, poetic, and musical, and they resoundly expressed the esteem and affection in which Professor Hagenauer is held by his colleagues.

The following day we were all invited by Professor Hagenauer to a

9.5 Festkolloquium und Feier anlässlich des 70. Geburtstages von Professor Joachim Hagenauer München, 21. und 22. Juli 2011

Gerhard Kramer und Günter Söder

garden party to celebrate his birthday. However, the typical Munich weather made for an indoor event.

The event had great music by the Erich Lutz Trio, named after Prof. Hagenauer's longtime DLR colleague, and a delicious buffet with Franconian specialties from Joachim Hagenauer's home area. It was a wonderful party, as can be seen in the pictures on the following pages.

All the best to Joachim Hagenauer!



Biography

Joachim Hagenauer received the Ing. (grad.) degree from the Ohm-Polytechnic Nuremberg, Germany, in 1963, and the Dipl.-Ing. and the Dr.-Ing. degrees in electrical engineering from the Technical University of Darmstadt, Germany, in 1968 and 1974, respectively. At Darmstadt University, he served as an Assistant Professor.

From May 1975 until September 1976 he held a postdoctoral fellowship at the IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY, working on error-correction coding for magnetic recording.

Starting from 1977 he was with the German Aerospace Research Establishment (DLR), Oberpfaffenhofen, and in 1990 he became a Director of the Institute for Communications Technology at DLR and Adjunct Professor at the Technische Universität München (TUM). During 1986–1987 he spent a sabbatical year as

"Otto Lilienthal Fellow" at AT&T Bell Laboratories, Crawford Hill, NJ, working on joint source-channel coding and on trellis coded modulation. In April 1993 he became a Full Professor for Communications Systems at TUM, where he taught graduate courses on communications theory, mobile systems, source- and channel coding and was awarded the "Best Teaching Award" of the TUM Student Union. He retired from his position in the fall of 2006.

Joachim Hagenauer's awards include the Erich-Regener-Prize and the Otto-Lilienthal-Prize of the German Aerospace Research Establishment, the 1996 International E.H. Armstrong-Award of the IEEE Communications Society for "Sustained and outstanding contributions to communications and error correcting coding" and as the highest honor, the 2003 IEEE Alexander Graham Bell Medal "For contributions to soft decoding and its application to iterative decoding algorithms". His university, the TUM, awarded him the Heinz-Maier-Leibnitz-Medal in 2003, the Friedrich-Alexander-University Nürnberg-Erlangen awarded him an honorary doctorate (Dr. Ing. E.h.) in 2006, and the VDE awarded him its "Ehrenring". He delivered invited Honorary Lectures, such as the Chien and Edison Lecture in the US, the Küpfmüller Lecture in Darmstadt and the Vodafone Lecture at the Royal Society in London.

After his retirement in 2006 he concentrated his research on "Information Theory and Genetics" together with some PhD students and a gene biologist which resulted in a "Schwerpunktprogramm" of the DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft). In collaboration with a historian, he is currently finishing a monograph on the life of three Professors of communications engineering during the Hitler regime: Hans Küpfmüller, Hans Ferdinand Mayer, and Hans Piloty.



John Proakis und Gerhard Kramer.



Anthony Ephremides mit Gattin Jane und Johanna Hagenauer.



Sergio Verdú und Daniel J. Costello.



Ende Juli 2011 vollendete Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Joachim Hagenauer sein 70. Lebensjahr. Aus diesem Anlass hatte sein ehemaliger Lehrstuhl zu einem Geburtstagskolloquium geladen und neben seinen ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern folgten dieser Einladung auch viele renommierte Wissenschaftler aus der ganzen Welt.

Joachim Hagenauer wurde 1941 in Fürth geboren. Nach Realschule und Lehre studierte er Elektrotechnik am Ohm-Polytechnikum Nürnberg und schloss dieses Studium 1963 als Ing.grad. ab. Danach wechselte er an die Technische Universität Darmstadt und wurde 1968 zum Dipl.-Ing. graduiert und 1974 zum Dr.-Ing. promoviert. 1975/76 war er als Postdoc am IBM T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY. Danach führte sein Weg zum Institut für Nachrichtentechnik beim (heutigen) Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen, zuletzt als dessen Co-Direktor. 1986/87 war er für ein Jahr als "Otto Lilienthal Fellow" bei den AT&T Bell Laboratories. Crawford Hill, NJ. Ab 1990 hielt Joachim Hagenauer als Honorarprofessor Vorlesungen an der Technischen Universität München (TUM). 1993 wurde er schließlich in der Nachfolge von Hans Marko als Ordinarius des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) berufen. Er trug mit theoretischen wie auch mit anwendungsbezogenen Arbeiten maßgeblich zur Entwicklung leistungsfähiger Codier-/Decodierverfahren bei. Von ihm stammen u.a. wesentliche Beiträge zur Umsetzung des Turbo-Prinzips in der Kommunikationstechnik und schließlich wandte er die Theorie der Informations- und Kommunikationstechnik erfolgreich zur Lösung vieler Forschungsfragen der Genetik an.



Der Platz dieses Artikels reicht bei weitem nicht, um alle wissenschaftlichen Preise und vielfältigen Ehrungen von Joachim Hagenauer zu nennen. Deshalb hier nur ein kurzer Auszug:

- Erich-Regener-Preis der DFVLR, heute: DLR (1981),
- Otto-Lilienthal-Preis der Deutschen Raumfahrtforschung (1985),
- seit 1992 Fellow des Institutes of Electrical and Electronic Engineers (IEEE),
- E.H. Armstrong Award 1996 der IEEE Communications Society,
- Preis für herausragende Lehre der Fakultät EI der TUM (1999),
- Präsident der IEEE Information Theory Society (2001),
- Heinz Maier-Leibnitz-Medaille der TU München (2003),

- Alexander Graham Bell Medal des IEEE (2003),
- Ernennung zum "Highly Cited Researcher" nach dem Thompson Citation Index (2005),
- Ehrendoktorwürde der Universität Erlangen-Nürnberg (2006),
- VDE-Ehrenring des Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (2006).

Joachim Hagenauer war Mitglied in vielen nationalen und internationalen Gremien und ist es teilweise heute noch, beispielsweise in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, in der er als Vorsitzender der Kommission "Forum Technologie" tätig ist, sowie bei "acatech", der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften.

An der Technische Universität München ist sein Name eng verbunden mit der erfolgreichen Etablierung des internationalen Studiengangs "Master of Science in Communications Engineering" (MSCE), der seit 1998 weltweit ein sehr hohes Ansehen genießt und als dessen Programmdirektor er bis 2008 fungierte.

Mit dem Eintritt in den Ruhestand endete aber nicht das wissenschaftliche Leben von Joachim Hagenauer. Bis heute ist er als "TUM Emeritus of Excellence" in verschiedenen Gremien und Berufungskommissionen aktiv. Seit 2007 ist er Mitglied des "Board of Trustees" des "Institutes for Advanced Study" (TUM-IAS), seit 2011 vermittelt er als Mediator bei Konflikten zwischen Doktoran-d(in) und Betreuer(in) und er ist als Vertreter der TUM im Vorstand des Internationalen Begegnungszentrums (IBZ) München und im Beirat von "Munich Aerospace".

Das Geburtstagskolloquium am 21. Juli 2011 wurde eröffnet von Professor Gerhard Kramer, seinem Nachnachfolger als Leiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik. Er begrüßte mehr als 70 Gäste, die teilweise von weither angereist waren, darunter auch viele von Hagenauers Doktorandinnen und Doktoranden. Zwischen 1990 und 2010 war er der Doktorvater bei 40 Promotionen.

Danach referierten sieben Wissenschaftler, mit denen Joachim Hagenauer teilweise über Jahrzehnte zusammengearbeitet hat:

 Prof. John G. Proakis von der Northeastern University in Boston, bereits 1999 und 2002 als MSCE-Gastprofessor am LNT,

BIRTHDAY COLLOQUIUM

on the occasion of Prof. Joachim Hagenauer's 70th birthday

Thursday, 21st July 2011, 2:00 p.m. LNT building N4, 2nd floor, Lecture room N2408

Welcome Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

The Secret Life of Joachim Hagenauer

Prof. Dr. Joachim Hagenauer is a true renaissance man. In this fanciful talk, we examine some aspects of his life that you always wanted to know, but were afraid to ask!

Prof. Daniel J. Costello

Bettex Chair Professor Emeritus Ph.D. University of Notre Dame

Reminiscing on my Two Visits to LNT

Recollections on living in Munich and teaching at LNT in 1999 and 2002.

Prof. John G. Proakis

(Emeritus) Professor Northeastern University

Joachim Hagenauer and Italy: A marriage made in heaven? Prof. Ezio Biglieri

Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain University of California, Los Angeles

7 BSE

An overview of the world (of communications) in the momentous year in which our birthday boy was born.

> Prof. Sergio Verdú Princeton University

Soft bits, likelihoods, and filters Prof. Hans-Andrea Loeliger ETH Zürich

E111 Zunen

First Encounters

Joachim Hagenauer is a pioneer of iterative decoding. A relevant discussion with him that took place at DLR before 1993 will be summarized along with other memorabilia.

Dr. sc. techn. Gottfried Ungerböck

Moon (C)ode

There is little difference between coding and singing as will be demonstrated in this presentation.

Prof. Anthony Ephremides

University of Maryland



Joachim Hagenauer und Gerhard Kramer.



Das Erich Lutz Jazz Trio.



Joachim und Johanna Hagenauer; im Hintergrund Ehemalige.



- Prof. Daniel J. Costello von der University of Notre Dame im US-Bundesstaat Indiana, 2002 als MSCE-Gastdozent am LNT,
- Prof. Anthony Ephremides von der University of Maryland in Baltimore, 2008 und 2011 Gastprofessor für MSCE,
- Prof. Ezio Biglieri, früher Hagenauers Verbindung zu Italien (Politecnico di Torino), nun an der University of California, LA,
- Dr. Gottfried Ungerböck, früher am IBM Zurich Research Lab, bereits zu DLR-Zeiten in engem wissenschaftlichen Kontakt,
- Prof. Hans-Andrea Loeliger von der ETH Zürich, einer der Miterfinder des analogen Decoders Ende der 1990er Jahre,
- Prof. Sergio Verdú von der Princeton University im US-Bundesstaat New Jersey, Kollege aus der IEEE Information Theory Society.

Für den nächsten Tag hatte Prof. Joachim Hagenauer zu einer Gartenparty geladen, die leider aufgrund des typischen Münchner Wetters zu einer In-door-Veranstaltung umgewidmet werden musste. Die Bilder dieser Seiten zeigen aber, dass dies der Stimmung keinen Abbruch tat. Großen Anteil daran hatte das Erich Lutz Jazz Trio, benannt nach einem langjährigen Kollegen von Joachim Hagenauer aus DLR-Zeiten.

Lieber Herr Hagenauer: Alle, die sich mit dem LNT verbunden fühlen – Ehemalige wie Aktive – wünschen Ihnen weiterhin so viel Elan wie bisher. Wir bedanken uns auch für das köstliche fränkische Büfett und für die Möglichkeit, mit alten Kolleginnen und Kollegen in gelöster Atmosphäre anregende Gespräche führen zu können. Es wurde noch ein richtig gemütliches Ehemaligen-Treffen bis spät in den Abend.



On the third anniversary of Ralf Kötter's passing, a new artwork was unveiled in his honour at the LNT. The unveiling took place in the presence of Ralf's colleagues, family and several friends. This artwork, created by Siegfried Arno Gottlieb Angermüller, was the fifth in a series celebrating the lives and work of previous LNT directors. It is interesting to note the similarities among the five paintings as they all include details showing the development of the LNT and of communications.

The artwork, known as a *frottage*, is created using a surrealist art technique where the artist makes rubbings of a textured surface and then uses the rubbings while further refining the artwork. In the case of the commemorative artwork for Ralf, the rubbings were taken from a number of items significant in his career and life. Ralf's name as the picture title and his dates of birth and death shown on the sides were created by chalk rubbings of the actual letter-

9.6 Feierliche Enthüllung des Ralf-Kötter-Epitaphs München, 2. Februar 2012

Nuala Kötter und Günter Söder

ing on his headstone. Items from his life were also used, including an old sneaker and his guitar. Ralf's initial interest in studying engineering was formed by his desire to learn how to build his own electric guitar and although he never fulfilled that particular ambition, he was an accomplished guitar player and played in a band while he was a student.

Also included in the rubbings were a number of awards that Ralf had earned for his academic work such as the Vodafone Prize and a prize for best professor awarded by students at the TUM. The colouring of the artwork is also very significant, ranging from the main colors of blue and yellow which signify the colors of the Swedish flag, to red, white and blue, the colors in the French and American flags. Ralf completed his doctorate in Sweden and had spent some considerable time in France and America

On a personal note, I would like to thank everybody at the LNT for the concern and support that was, and still is, shown to Ralf's son, Finn, and me during his illness and during the past three years since he passed away. The love and friendship that everybody has given to us and to Ralf's parents and brother is exceptional and very much appreciated by us all. We are very happy to still be included as a part of the LNT family and we will enjoy stopping by occasionally to admire the artworks hanging on the walls.

Zum dritten Todestag von Ralf Kötter am 2. Februar 2012 hatte der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik zu einer Gedenkstunde in den dritten Stock des Lehrstuhlgebäudes eingeladen. Der Einladung von Professor Gerhard Kramer folgten neben allen aktuellen Lehrstuhlangehörigen auch Ralfs Vorgänger Prof. Hans Marko und Prof. Joachim Hagenauer, beide mit ihren Ehefrauen. Als Ehrengäste war Ralfs Familie zugegen: seine Frau Nuala, sein Sohn Finn und seine Eltern. Auch etliche seiner Freunde und Bekannten waren gekommen.

Im Mittelpunkt der Veranstaltung stand die feierliche Enthüllung des Ralf-Kötter-Epitaphs, das der LNT bei dem Heidelberger Objektkünstler Siegfried Arno Gottlieb Angermüller in Auftrag gegeben hatte.

Die Verfasser geben zu, dass sie ohne Hintergrundinformationen dem Thema nicht hätten gerecht werden können. Wir zitieren aus Wikipedia:



Feierliche Enthüllung der Frottage durch Siegfried A. G. Angermüller und Gerhard Kramer.

"Als Epitaph (griech. ἐπιτάφιον, lat. Epitaphium von ἐπί: "bei, auf" und τάφος: "Grab') bezeichnet man ein Denkmal, das an Verstorbene erinnert. Epitaphien sind oft künstlerisch sehr aufwändig und befinden sich im Unterschied zum Grabmal nicht zwangsläufig am Bestattungsort."

Nach der von Angermüller angewandten Technik kann man auch von einer "Gemälde-Frottage" sprechen. Der Begriff "Frottage" beruht auf einer jahrtausendealten Technik des Durchreibens, des Abreibens, des Abgreifens von erhabenen und vertieften Reliefs und Strukturen. Und so hat der Künstler vor Beginn seines Werkes viele für Ralf Kötter wichtige Orte bereist und vielfältige Begriffe, Daten, Ornamente, Muster, Gegenstände mittels Pastellkreiden auf Segeltuch komponiert. Man erkennt Abreibungen von Hinweistafeln aus dem Umfeld des LNT und der TUM, von öffentlichen Gebäuden in München und von anderen Orten aus Ralfs Lebensweg.

Der Name "Ralf Kötter" im oberen Bereich sowie das Geburts- und Sterbedatum wurden von Ruth und Hubert Kötter mit großer Hingabe vom Grabstein in Kronberg direkt übernommen. Symbolisch für den Fort-Schritt in Forschung und Lehre stehen hier die Sohlenabdrücke von Ralfs Sportschuhen, und auch die Gitarre hatte einen besonderen Stellenwert für Ralf Kötter. Als Student war Ralf Gitarrist in einer Band.

Das Portrait und die Seitenteile wurden mit Acryl- und Ölfarben gemalt, so dass S.A.G. Angermüller sein Werk auch als "Gemälde-Frottage" bezeichnet.

Angermüller schloss seinen Vortrag wie folgt: "Um diese Arbeit in Angriff nehmen zu können, war ich auf wichtige Insider-Informationen angewiesen, zumal ich – was ich sehr bedaure – Ralf Kötter persönlich nicht kennenlernen durfte. Im Laufe der Schaffenszeit hat sich aber bei mir eine überaus intensive Empathie eingestellt, durch Gespräche mit ihm nahestehenden Personen, durch Jahresberichte und durch den Vodafone-Film. Ohne diese Annäherung wäre diese Gemälde-Frottage nicht möglich gewesen."



Im Jahr 2000 hat der gleiche Künstler bereits die Frottagen der Professoren Heinke, Piloty, Marko und Hagenauer geschaffen, so dass nun im Treppenhaus des Lehrstuhlgebäudes N4 die Ahnengalerie des LNT von 1900 bis 2009 vollständig ist.

Abschließend soll Nuala Kötter zu Wort kommen: "Die Wertschätzung, die Ralf bei seinen Mitarbeitern, seinen Vorgängern und seinem Nachfolger Gerhard Kramer noch heute – mehr als drei Jahre nach seinem Tod – erfährt und die durch dieses Epitaph und bei anderen Gelegenheiten zum Ausdruck kommt, sind für Finn und mich sehr wohltuend, insbesondere auch für Ralfs Eltern und Bruder."



Nuala Kötter mit Sohn Finn und Ralfs Eltern Ruth und Hubert Kötter zusammen mit den LNT-Chefs seit 1962, Hans Marko, Joachim Hagenauer und Gerhard Kramer, sowie dem Künstler Siegfried A. G. Angermüller.

9 Veranstaltungen

On April 21, 2012, the "Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis" was awarded for the third time in the city hall of Kronberg/Taunus. The prize was initiated 2010 and is endowed by Ruth and Hubert Kötter, the parents of Ralf Kötter. The prize is awarded annually, in even-numbered years for innovative research in the field of communications engineering, in odd-numbered years for exceptional humanitarian aid.

As keynote speaker of the award ceremony, Prof. Gerhard Kramer introduced this year's award winner Hannes Bartz, who received the prize for his outstanding master thesis in the field of error correcting network codes. The topic of the thesis was one of Ralf Kötter's main research interests. Since Ralf Kötter was an enthusiastic guitar player, the ceremony was accompanied by the *Creative Sounds Kronberg*.

9.7 Verleihung des Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreises Kronberg im Taunus, 21. April 2012

Gerhard Kramer und Günter Söder

Am 21. April 2012 wurde in einer familiären Feierstunde in der Stadthalle von Kronberg im Taunus zum dritten Mal der *Professor Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis* verliehen.

Dieser jährlich zu vergebende Preis wurde 2009 vom Ehepaar Ruth und Hubert Kötter in großherziger Weise gestiftet, der bis 2023, dem Jahr, in dem ihr Sohn, unser ehemaliger Lehrstuhlinhaber Ralf sein 60. Lebensjahr vollendet hätte, im Wechsel für innovative Forschung auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik und für besondere humanitäre Hilfe vergeben wird.

Der erste Preisträger 2010 war Johannes Lenz, der kurz nach Ralf Kötters Tod seine Master Thesis zum Thema *Network Coding* bearbeitete. 2011 wurde Professor Dr. Ernst Weinand Leuninger für sein humanitäres Engagement geehrt, der mit seiner Aktion "Guter Hirte" bedürftige Bergbauern in Bosnien und im Kosovo unterstützt.

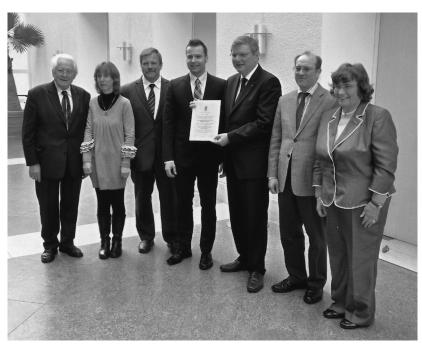
2012 lag das Vorschlagsrecht wieder beim Lehrstuhl für Nachrichtentechnik. Ausgewählt wurde Dipl.-Ing. Hannes Bartz für seine Abschlussar-

beit Implementation of an Error-Correcting Network Code based on a Reed-Solomon Code. Wie schon bei der Lenzschen Arbeit sind auch in die Arbeit von Hannes Bartz viele von Ralf Kötters Ideen eingeflossen.

Die Preisverleihung 2012 fand wie die Jahre zuvor unter der Schirmherrschaft der Stadt Kronberg statt. Bürgermeister Klaus Temmen konnte neben den Familienangehörigen auch zahlreiche Wissenschaftler begrüßen, mit denen Ralf zusammengearbeitet hat. Die weiteste Anreise hatte Ralfs Doktorand Danail Traskov, der 2011/2012 eine längere Zeit als Postdoc in Boston verbrachte. Aber auch Professor Hans Marko, Kötters Vorvorgänger am LNT, war der Einladung gerne gefolgt.

Bürgermeister Temmen erinnerte daran, dass Ralf Kötter zwar nicht in Kronberg geboren sei, sondern im benachbarten Königstein. Aber er kam schon im Kindesalter in den Ort, in dem seine Eltern heute noch wohnen und in dem er 2009 auf eigenen Wunsch seine letzte Ruhestätte gefunden hat. Als Beleg dafür, wie wegweisend Ralf Kötter als Wissenschaftler und wie prägend er als Mensch war, führte der Bürgermeister an, dass sechs renommierte Professorinnen und Professoren ein Buch mit dem Titel .. Das naturwissenschaftliche Vermächtnis von Ralf Kötter" herausgebracht haben. Vor Kurzem wurde auch der Professor Dr. Ralf Kötter Freundeskreis gegründet, dessen Mitglieder zu der jährlichen Gedächtnisfeier und Preisverleihung eingeladen werden.

Kommen wir nun zur Laudatio von Prof. Gerhard Kramer für den "Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnis-Preisträger 2012", Hannes Bartz, und damit zur Hauptperson dieser Veranstaltung. Hannes wurde 1985 in Trostberg im Chiemgau geboren, besuchte in Burghausen die Grundschule und danach das Gymnasium und schloss dieses 2004 mit der allgemeinen Hochschulreife ab. Danach leistete er seinen Zivildienst im Bereich Kinder-, Ju-



Hannes Bartz, Gedächtnispreisträger 2012, zusammen mit Bürgermeister Temmen, dem Laudator Gerhard Kramer sowie Ruth, Jörg, Nuala und Hubert Kötter.



Dipl.-Ing. Hannes Bartz

gend- und Behindertensport ab. 2005 nahm er an der TU München das Studium der Informationstechnik auf, wurde 2009 zum B. Sc. graduiert und 2010 beendete er das Studium mit dem Abschluss Diplom-Ingenieur.

Gerhard Kramer erinnerte sich in seiner Laudatio, wie er Hannes im November 2010 kennenlernte: "Er hatte sich bei mir beworben und ich suchte einen Mitarbeiter, der das Potenzial hatte, weltweit anerkannte Forschung zu machen, und sich gleichzeitig durch Kommunikationsfähigkeit und vielfältiges Organisationstalent auszeichnet.

Wir hatten damals nämlich eine besonders wichtige und verantwortungsvolle Aufgabe zu vergeben. Unser Lehrstuhl ist für das internationale MSCE-Programm (Master of Science in Communications Engineering) zuständig, das bereits 1998 von Professor Hagenauer ins Leben gerufen wurde und für das sich auch Ralf Kötter sehr engagierte. Es ist für die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik ein einzigartiges Internationalisierungsinstrument. Jedes Jahr bewerben sich mehr als 600 Bachelor-Studenten aus der ganzen Welt. Nur etwa 10% werden zugelassen und ca. 50 junge Menschen fangen ihr zweijähriges Studium an der TU München an.

Seinerzeit suchten wir für dieses MSCE-Programm einen *Program Manager*, dem aber auch wissenschaftliches Arbeiten sehr viel Spaß bereitet. Diese Kombination aus Wissenschaftler und Verwalter findet man allerdings nur sehr selten.

Alle Mitarbeiter, die ich befragte, waren ohne Ausnahme von Hannes begeistert. Gleicher Meinung war Prof. João Barros von der Universidade do Porto, der von 1999-2003 selbst Program Manager des MSCE war. Er kannte Hannes von dessen Auslandsaufenthalt in Porto 2010. Hannes hatte dort während seiner Diplomarbeit zwei von Ralfs Lieblingsthemen aufgegriffen und kombiniert: Netzwerk-Codierung und Algebraische Codes. Er implementierte Kötter-Kschischang Codes, welche Nachrichten in Untervektorräume abbilden. Übertragungsfehler können damit sehr effizient korrigiert werden. Besser als die Kötter-Kschischang Codes geht es nicht.

Liebe Familie Kötter, Sie haben eine hervorragende Wahl getroffen. Am Lehrstuhl suchen wir immer junge Menschen mit ausgeprägtem Zukunftspotenzial. Hannes Bartz hat dieses Potenzial in einer Breite, die man selten trifft. In seiner Freizeit zeigt er seine Leistungsbereitschaft und Begeisterungsfähigkeit beim Golf, bis hin zur Teilnahme bei den Bayerischen Meisterschaften.

Ich kann mit voller Überzeugung sagen, dass wir keinen besseren Manager für das MSCE-Programm hätten



bekommen können. Hannes ist begeistert von der Arbeit, zuverlässig, fleißig, auch noch in Stress-Situationen freundlich und immer bemüht, den Administratorinnen die Arbeit durch neue Ideen und Konzepte zu erleichtern. Es ist ein großes Geschenk, dass wir ihn haben.

Seine jetzige Forschung bezieht sich auf die Netzwerk-Codierung für verteilte Speicherung. Hier könnten Kötter-Kschischang Codes in naher Zukunft ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Es gibt also einen engen Bezug zwischen dem Gedächtnispreisträger 2012 und dem Namensgeber Professor Dr. Ralf Kötter."

In seinen Dankesworten sagte Hannes Bartz: "Dass ich diesen Preis bekomme, freut mich besonders, da ich Prof. Ralf Kötter noch persönlich kennenlernen durfte. Dabei hat er bei mir erst das Interesse für die Thematik geweckt. Er war ein toller Mensch und begeistert von seinem Spezialthema."



Ernst Weinand Leuninger, Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreisträger 2011, eingerahmt von Bürgermeister Temmen, Ruth Kötter, Pfarrer Olaf Lindemann und Hubert Kötter.



Im Mai 2012 fand am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik zum ersten Mal ein dreitägiger Workshop zum Thema *Bidirektionale Kommunikation und gerichtete Information* statt. Diese Veranstaltung wurde von Gerhard Kramer initiiert und geleitet und von seinen Mitarbeitern Jie Hou und Tobias Lutz organisiert.

Vor mehr als 40 Jahren hatte Professor Hans Marko als Leiter des LNT eine *Bidirektionale Kommunikations-theorie* entwickelt, die es ermöglicht, die Richtung des Informationsflusses bei einem wechselseitig gekoppelten statistischen System zu bestimmen.

9.8 1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information, München, 6.–8. Mai 2012

Jie Hou und Gerhard Kramer

Ein Beispiel: A und B tauschen gegenseitig Informationen aus. Profitiert nun A mehr von den Informationen von B oder umgekehrt?

In den 1990er Jahren griff Professor James Massey von der ETH Zürich – ein Schüler Shannons – Markos Ideen auf, entwickelte die Theorie weiter und machte sie populär. Einen wichtigen Beitrag hierzu leistete auch Gerhard Kramer mit seiner Dissertation Directed Information for Channels with Feedback (1998).

Heute in den 2010er Jahren nutzen viele Informationstheoretiker *Directed Information*, um aus großen Datenmengen Kenntnisse über Kausalität und wechselseitige Abhängigkeiten zu erlangen. Anwendungsgebiete sind beispielsweise Kommu-

nikationsnetze, Wirtschaftswissenschaften, Genetik und Neurowissenschaften sowie die Spieltheorie.

Zum Workshop hatten wir Wissenschaftler aus den hier genannten Fachgebieten eingeladen und viele folgten unserer Einladung. Wie Sie dem Progamm auf der nächsten Seite entnehmen können, gab es neben den Einführungsvorträgen der Pioniere Hans Marko und James Massey und dem Abschlussvortrag von Gerhard Kramer noch zwölf Vorträge. Die Vortragenden kamen aus den USA (T. Coleman, N. Elia, A. Hero, Y.-H. Kim, S. Mitter, M. Raginsky, S. Tatikonda, R. Venkataramanan, T. Weissman), aus Frankreich (P.O. Amblard, O. Michel), Israel (H. Permuter) und Armenien (Khachatryan).



Vorne: M. El Hefnawy, H. Permuter, T. Lutz. 2. Reihe: J. Hou, G. Kramer, S. Tatikonda, L. Massey, H. Dörpinghaus, J. Massey, H. Marko, T. Weissman, S. Mitter, O. Simeone, G. Khachatrian, M. Raginsky, N. Elia, R. Böhnke. 3. Reihe: M. Thakur, J. Brauchle, S. Dierks, R. Venkataramanan, M. Stinner, G. Böcherer, S. Rini, S. Semmelbauer, R. Hrishikesh, M. Hiller.

Daneben gab es etliche Teilnehmer ohne Vortrag, zum Beispiel Osvaldo Simeone vom New Jersey Institute of Technology, alle LNT-Mitarbeiter und externe Doktoranden.

Nach Aussagen vieler Teilnehmer war der Workshop sehr erfolgreich. Nach unserer eigenen Einschätzung waren die Gründe für den Erfolg:

 Der Workshop war von der Teilnehmerzahl her klein gehalten.
 Dadurch ergaben sich nach den Vorträgen, aber auch schon während der Vorträge und in den Kaffeepausen intensive Diskus-

- sionen, die bei einer großen Konferenz nicht in der Form möglich sind
- Bei einen gemeinsamen Abendessen im Wirtshaus in der Au, einem typischen bayerischen Lokal nahe der Isar, konnten sich die Teilnehmer besser kennenlernen. Viele waren zum ersten Mal in München und genossen sichtlich die lockere Atmosphäre.

Noch ist nichts Konkretes geplant, aber der erste Munich Workshop könnte durchaus noch einen (oder mehrere) Nachfolger bekommen.



The 1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information took place in May 2012 at the Institute for Communications Engineering.

Directed information was born at the LNT over 40 years ago when Prof. Hans Marko developed a bidirectional communication theory whose aim was to distinguish the direction of information flow for mutually coupled statistical systems. Prof. James Massey from the ETH Zurich took up and refined the idea many years later and the topic is becoming increasingly popular for measuring causality and dependence. Application areas are, for example, communication network capacity, econometrics, gambling, gene networks, and computational neuro-sci-

Aiming at exchanging ideas and advancing the boundaries of knowledge on the topic, we invited leading scientists working on bidirectional communication and directed information theory. Alongside the introduction given by the pioneers Hans Marko and James Massey and Gerhard Kramer's final presentation, there were twelve other talks of 45 minutes. The speakers are from the United States (T. Coleman, N. Elia, A. Hero, Y.-H. Kim, S. Mitter, M. Raginsky, S. Tatikonda, R. Venkataramanan, T. Weissman), France (P. O. Amblard, O. Michel), Israel (H. Permuter), and Armenia (Khachatryan). In addition, there were participants without a talk, e.g., Osvaldo Simeone from the New Jersey Institute of Technology, the entire LNT staff and some external Ph.D. students.

In the afternoon of May 6, Prof. Kramer welcomed all attendees and officially opened the workshop. The first two talks were given by Prof.

1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information - Technical Program

06.05.2012 **Hans Marko** (Emeritus, Technische Universität München) A Review of Contributions from the Institute for Communications at the TU Munich

> **Jim Massey** (Emeritus, ETH Zürich) Directed Information – from Where to Where?

Tsachy Weissman (Stanford University) Directed Information Estimation

07.05.2012 **Sanjoy Mitter** (Massachusetts Institute of Technology)
The Interaction of Information and Control

Nicola Elia (Iowa State University) Communication Channels with Noisy Feedback

Sekhar Tatikonda (Yale University) Computing Feedback Capacity

Ramji Venkataramanan (Yale University) Harnessing Feedback in Multi-Terminal Communication

Todd P. Coleman (University of California, San Diego) The Use of Directed Information Graphs to Elucidate Large-Scale Neural Spiking associated with Wave Propagation in Motor Cortex

Young-Han Kim (University of California, San Diego) Coding Theorems based on Directed Information

Haim Permuter (Ben Gurion University) Numerical Optimization Tools for the Directed Information

08.05.2012 Al Hero (Michigan University)

Estimation and Exploitation of Directed Information with Limited Sample Size

Pierre-Olivier Amblard, Olivier J.J. Michel (GIPSA Lab) On Granger Causality and Directed Information Theory

Maxim Raginsky (Univ. of Illinois at Urbana–Champaign) Directed Information, Probabilistic Graphical Models, and Pearl's Causal Calculus

Gurgen Khachatrian (American University of Armenia) Erasure Tolerant Linear Codes for Rapidly Changing Communication Channels

Gerhard Kramer (Technische Universität München) Networks with In-Block Memory



Marko and Prof. Massey who reviewed the history and development of directed information. The other talks gave overviews about recent results. For instance, Prof. Weissman spoke about estimating directed information for a variety of applications from universal source coding to the stock market. Prof. Elia and Prof. Tatikonda, both former students of Prof. Mitter, showed how to use directed information to efficiently compute feedback capacity. Prof. Coleman reviewed progress in applying directed information to neuron networks.

The workshop was kept small which gave it several advantages

over larger conferences. There were extensive discussions that clarified the subject matter and brought up new ideas. During the coffee breaks and over delicious lunch, the attendees continued their "heated" discussions and shared anecdotes among friends that they do not see very often in such an intimate environment. The PhD students had the chance to approach the professors, ask them technical questions and get to know them personally.

After hard and productive work during the day, there were social programs in the evening. Many of the guests were visiting Munich or Germany for the first time and were eager to learn about the local culture. Being in Bavaria, we organized dinner at a typical Bavarian restaurant "Wirtshaus in der Au" which is situated at the bank of the Isar river. Everything in the house could not be more Bavarian: the dress, the decoration and the waitresses. Our guests discovered and enjoyed typical local food, such as "Kaiserschmarrn" and "Bayerisch Crème". Of course, they

also enjoyed the incomparable "Munich beer" from the most famous "beer city" in the world. We talked for hours, sharing stories and enjoying the good company.

This was the first time we organized this workshop in Munich and it was a great success. Prof. Coleman wrote: "The workshop was absolutely fantastic. I left energized and excited to read other people's papers and to draw new connections. I really enjoyed it being more intimate than a conference so we could have lots of potent conversations over coffee/ lunch/dinner and whatnot."

Prof. Permuter wrote the following words about the workshop: "I have spent three extremely stimulating days in Munich, listening to talks and thinking of new ideas and projects. Hopefully, you will organize it again, so that we can have more Bavarian beer."

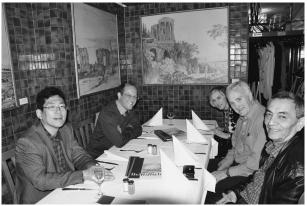
We were of course delighted to see and hear that the guests enjoyed the event. Perhaps we can welcome you to Munich for some other workshop in the near future.



Vortrag Haim Permuter.



Auditorium.



Y. Kim, G. Kramer, L. + J. Massey, G. Khachatrian.



Al Hero, M. Raginsky und Svetlana Lazebnik

10 Internationale Beziehungen

10.1 Ein kurzer Überblick Gerhard Kramer und Günter Söder

After Professor Gerhard Kramer became Head of the Institute on October 1, 2010 we had many visitors at the LNT. All visiting researchers staying a month or longer are listed in Chapter 10.2. For example two of our visiting researchers in 2011 were Professor R. Yeung from the Chinese University of Hong Kong, and Professor Frank Kschischang from the University of Toronto. Frank is a Hans Fischer Senior Fellow of the TUM Institute for Advanced Study and he will spend another half year in Munich starting in October 2012.

In September 2012 Dr. Timo from the University of South Australia came to the LNT and he will stay until the end of the year. Joshua Gunn and Hassan Ghozlan, both from the University of Southern California, as well as Johnny Karout from the Chalmers University of Technology in Sweden are Ph.D. students who spent quite some time in Munich.

Many of these contacts arose out of the IEEE Information Theory Society, where Gerhard Kramer is very active, being the Society's Vice President in 2011/2012. The TUM MSCE program brought Professor A. Ephremides from the University of Maryland as well as Dr. G. Ungerböck, formerly at IBM Zurich Research Lab, to the LNT. These distinguished engineers were visiting lecturers for an "Advanced Topics in Communications Engineering" course in 2011 and 2012, respectively.

Many other visitors came to Munich for a few days, wishing to be informed about our research activities and to present their own work. The talks of our guests are listed in Chapter 10.3. Some of the talks were given at the *Colloquium on the Occasion of Prof. Joachim Hagenauer's 70th Birthday* (see Chapter 9.5), others at the *Ist Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information* (see Chapter 9.8)

Several members of the LNT travelled abroad:

- Gerhard Kramer gave talks at several conferences (see Chapter 8), and he visited the Institute for Telecommunications Research at the University of South Australia, Adelaide, in the summer of 2012.
- Mohit Thakur spent about one month in June 2011 with Professor Muriel Médard at the Massachusetts Institute of Technology.
- Markus Stinner worked for four weeks in June 2012 with Iryna Andriyanova at the Institut ETIS – Equipes Traitement de l'Information et Systèmes at the university ENSEA.
- Tobias Lutz is visiting Tsachy Weissman at Stanford University since August 2012. He will be staying until March 2013.

The LNT also offered lectures abroad, namely in Antalya, Barcelona, Oulu, Shanghai, Singapore and the Sarntal (see Chapter 3.5).

- 10.1 Ein kurzer Überblick
- 10.2 Gastwissenschaftler am LNT
- 0.3 Vorträge von Gästen



Im Berichtszeitraum 2009/2010 war die Richtung unserer internationalen Kontakte etwas einseitig. Der Grund hierfür war, dass nach Ralf Kötters Tod viele seiner Doktoranden Kontakte mit fachverwandten Professorinnen und Professoren knüpfen mussten, um ihre Doktorarbeiten voranzutreiben. Sie besuchten viele Universitäten und Forschungseinrichtungen im In- und Ausland. Dagegen konnten wir 2009 und 2010 nur sehr wenige internationale Besucher in München begrüßen.

Nach dem Amtsantritt von Professor Kramer zum Oktober 2010 besteht nun ein eher ausgewogenes Verhältnis zwischen Informationseingang und –ausgang am LNT. Im Kapitel 10.2 sind diejenigen Gäste aufgeführt, die seit dem 01.10.2010 für mindestens einen Monat am LNT geforscht haben. Sie finden dort auch Kurzbiografien der Besucher.

Viele der Kontakte kamen über die IEEE Information Theory Society zustande, in der Gerhard Kramer sehr aktiv ist; 2011/2012 ist er deren Vizepräsident. Zu erwähnen ist hier der einmonatige Gastaufenthalt von Professor Raymond Yeung von der Chinese University of Hong Kong.

Daneben waren mit Joshua Gunn und Hassan Ghozlan auch zwei Doktoranden von Kramers früherer Wirkungsstätte, der *University of Southern California* (USC) in Los Angeles, für längere Zeit am LNT, um ihre Doktorarbeiten fertig zu stellen. Und schließlich arbeitete Ende 2011 Johnny Karout von der *Chalmers University of Technology* in Göteborg für drei Monate eng mit den LNT-Mitarbeitern zusammen.

Aber auch das *Institute for Advanced Study* unserer Universität (TUM-IAS) hat sehr zur Internationalisierung des LNT beigetragen. So

war Professor Frank R. Kschischang von der *University of Toronto* 2011 für drei Monate am LNT und er wird im November 2012 für ein halbes Jahr wieder kommen. Prof. Kschischang ist ein *Hans Fischer Senior Fellow of the Institute for Advanced Study*. Zukünftig wird auch ein vom IAS finanzierter Postdoc seine Forschungstätigkeiten unter Anleitung von Frank Kschischang weitgehend am LNT durchführen.

In den beiden Sommersemestern 2011 bzw. 2012 hatten wir ebenfalls hochangesehene Wissenschafter für längere Zeit am LNT, nämlich Professor Anthony Ephremides von der University of Maryland sowie Dr. Gottfried Ungerböck, über eine sehr lange Zeit am IBM Zurich Research Lab tätig. Der eigentliche Grund ihres Besuches war die MSCE-Vorlesung Advanced Topics in Communications Engineering. Aber unsere Doktoranden ließen sich die Gelegenheit nicht entgehen, vom reichen Erfahrungsschatz von Prof. Ephremides und Dr. Ungerböck zu profitieren.

Viele Besucher kamen auch nur für ein paar Tage nach München, um sich über unsere Forschungsergebnisse zu informieren und gleichzeitig über ihre eigenen Arbeiten zu berichten. Im Kapitel 10.3 sind die Vorträge von Gästen aufgelistet. Sieben der genannten Vorträge fanden anlässlich des *Birthday Colloquium on the Occasion of Prof. Joachim Hagenauer's* 70th Birthday statt, worüber wir im Kapitel 9.5 berichten.

Schließlich soll noch der im Mai 2012 vom LNT organisierte First Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information erwähnt werden, bei dem wir neben Professor James Massey noch zehn Informationstheoretiker aus den USA, zwei aus Frankreich und je einen Israeli und Armenier begrüßen konnten (siehe Kapitel 9.8).

Natürlich gab es auch etliche Auslandsreisen von LNT-Angehörigen:

Gerhard Kramer besuchte außerhalb von Konferenzen (siehe Kapitel 8) und Workshops der IEEE Information Theory Society im Sommer 2012 auch das Institute for Telecommunications Research

- an der University of South Australia in Adelaide.
- Mohit Thakur war 2011 für mehrere Wochen bei Professor Muriel Médard am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Für ihn war es bereits der vierte Forschungsaufenthalt am MIT.
- Markus Stinner arbeitete im Juni 2012 vier Wochen bei Professor David Declercq im Institut ETIS – Equipes Traitement de l'Information et Systèmes an der Universität ENSEA (Grande Ecole d'Ingénieurs généraliste en électronique) in Cergy-Pontoise bei Paris. Seine Forschungskollegin war Iryna Andriyanova.
- Tobias Lutz verwendet das beim *Qualcomm Innovation Fellowship* 2012 gewonnene Preisgeld von 10000 €, um sein Forschungsvorhaben "Construction of Robust Timing Codes for Noisy Half-Duplex Relay Networks" an der *Stanford University* beim Informationstheoretiker Tsachy Weissman fortzusetzen. Er ist im August 2012 nach Kalifornien gereist und wird voraussichtlich bis März 2013 bleiben.

Anzuführen sind hier noch die Lehrveranstaltungen, die von Gerhard Kramer und seinen Mitarbeitern in Antalya, Barcelona, Oulu, Shanghai und Singapur sowie im Sarntal abgehalten wurden (siehe Kapitel 3.5).

Die durch die Europäische Union geförderten Programme zur internationalen Zusammenarbeit waren für uns 2011/2012 nicht mehr von so großer Bedeutung wie in den Jahren zuvor. Sowohl das Exzellenznetzwerk Network of Excellence in Wireless Communications, dem wir seit 2004 angehört haben (zuletzt unter dem Namen NEWCOM++) als auch Network Coding for Robust Architectures in Volatile Environments (N-CRAVE, seit 2007) sind Ende 2010 ausgelaufen. Das Förderprogramm SOKRATES/ERASMUS für den Studentenaustausch innerhalb der EU läuft zwar weiter, doch sind die Fortschritte durch den Bologna-Prozess nicht so wie von der Politik erhofft. Unsere aktuellen Zahlen sprechen eher für einen Rückgang der studentischen Auslandsaktivitäten.

10.2 Gastwissenschaftler am LNT

Gerhard Kramer und Günter Söder

Aufgeführt sind hier alle Besucher mit Biografie, die im Berichtszeitraum für mindestens einen Monat am LNT zu Gast waren. Kurzzeitige Gäste (alle mit Vortrag) werden im Kapitel 10.3 genannt.

Listed below are all visitors with their respective biography who were our guests in the reporting period for more than one month. Temporary visitors and their respective talk titles are listed in Chapter 10.3.

Joshua Gunn is a Ph.D. student in Electrical Engineering at the Univer-



sity of Southern California (USC). His advisor is Gerhard Kramer. In December 2006 he received his Bachelor degree (BSEE) in Circuit

Theory from the Brigham Young University, and in May 2009 his Master degree (MSEE) from the University of Southern California. His research interests include communication theory, coding theory and iterative decoding.

Anthony Ephremides holds the Cynthia Kim Eminent Professorship



Chair of Information Technology at the University of Maryland, and he was recently named a Distinguished University Professor. He holds

a joint appointment with the Institute for Systems Research and he is a member of the Maryland Hybrid Networks Center. He received his B.S. degree in Electrical and Computer Engineering from the National Technical University of Athens, Greece, in 1967 and the M.A. and Ph.D. degrees also in Electrical Engineering from Princeton University in 1969 and 1971, respectively.

He has served in many capacities in the IEEE and other organizations and has been honored with many prestigious accolades and awards. His research interests include all aspects of communications engineering (information theory, communication networks, multi-user systems, satellite systems) with focus on energy efficiency and cross-layer approaches to design.

Hassan Ghozlan is a Ph.D. student in the Ming Hsieh Department of



Electrical Engineering at the University of Southern California (USC) in Los Angeles, CA. Before joining USC, he worked as a research

assistant at the Wireless Intelligent Networks Center (WINC) at Nile University in Egypt. He also received his M.Sc. in Wireless Communications in 2009 from Nile University. In 2007, he obtained his B.Sc. in Electronics and Communication Engineering from Cairo University. Egypt.

His research interests are information theory, optical and wireless communication, relaying, and cooperative communication.

Raymond W. Yeung received the BS, MEng and PhD degrees in El-



ectrical Engineering from Cornell University in 1984, 1985, and 1988, respectively. He joined AT&T Bell Laboratories in 1988. He came to the Chi-

nese University of Hong Kong (CUHK) in 1991 and has been with the Department since then, where he is currently a chaired 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



14.02.2011 – 26.02.2011, 16.01.2012 – 28.01.2012: **Joshua Gunn,** MSEE University of Southern California, Ph.D. student

01.05.2011 – 31.07.2011: Prof. **Anthony Ephremides** University of Maryland, Lecturer of the MSCE-course *Advanced Topics in* Communications Engineering

01.05.2011 – 31.07.2011, 21.12.2011 – 31.12.2012: **Hassan Ghozlan**, M.Sc. University of Southern California, Ph.D. student

01.06.2011 – 28.06.2011: Prof. **Raymond Yeung** The Chinese University of Hong Kong (CUHK)

16.09.2011 – 15.12.2011: Prof. **Frank R. Kschischang** University of Toronto

04.10.2011 – 23.12.2011: **Johnny Karout**, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden Ph.D. student

01.05.2012 – 23.07.2012: Dr. **Gottfried Ungerböck** IBM Zurich Research Lab, Lecturer of the MSCE-course *Advanced Topics in Communications Engineering*

10.09.2012 – 20.12.2012: Dr. **Roy Timo** University of South Australia, Adelaide, Australia Postdoctoral research fellow



consultant in a project of the Jet Propulsion Laboratory for salvaging the malfunctioning Galileo Spacecraft.

He was a member of the Board of Governors of the IEEE Information Theory Society from 1999 to 2001, and he has served on the committees of a number of information theory symposiums and workshops.

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.

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,

Toronto, ON, 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. 1997/1998, he was a visiting scientist at MIT, Cambridge, MA, and in 2005 he was a visiting professor at the ETH Zurich.

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 the Technische Universität München, he is working as a Hans Fischer Senior Fellow 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 multimode and multi-core fibers. If successful, their work will have the every-day impact of helping to create a better, faster, more reliable Internet.

Johnny Karout received his B.E. (with distinction) in computer en-



gineering from the Lebanese American University, Byblos, Lebanon in 2007, his M.Sc. in communication engineering, and Licentiate degree in

electrical engineeering, both from Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, in 2009 and 2011, respectively. Since June 2009, he has been pursuing his Ph.D. at the Department of Signals and Systems. Since July 2012, he has been a guest researcher at Bell Labs, Alcatel-Lucent, NJ, USA. He was also a visiting scholar at the University of Toronto, Canada, in September 2012.

His research interests are in the broad areas of modulation and coding, with a focus on optical channels. In 2010, he co-founded the project Optium, which is related to short-haul optical communications, at Chalmers Innovation, a business incubator located in Gothenburg, Sweden.

Gottfried Ungerböck received an electrical engineering degree from



the Technical University in Vienna in 1964, and a Ph.D. degree from the ETH Zurich in 1970. After working at Vienna Schwachstromwerke

as a circuit designer he joined IBM Austria as a Systems Engineer. In 1967 he became a Research Staff Member at the IBM Zurich Research Laboratory (ZRL) in Switzerland.

His initial work dealt with digital speech processing and switching systems. A study of channel coding for band-limited channels led him to the invention of trellis-coded modulation (TCM). With DLR in Germany he built the first satellite modem using TCM. Further activities at IBM included participation in standards activities for LAN transceivers and cable modems, and he managed the signal-processing activities at the IBM ZRL from 1978 to 1998.

In 1998, he joined Broadcom Corporation in Irvine, USA, as a Technical Director and concerned with "Last Mile" technologies. After retiring from Broadcom in 2009 he taught Classical and Modern Channel Coding at Universities in the USA, Korea, and Germany.

Gottfried Ungerboeck is an IEEE Life Fellow, and has been an IBM Fellow and a Broadcom Fellow. He served as an Associate Editor of the IEEE Transactions on Communications during 14 years. In 1985 he became a Foreign Associate of the US National Academy of Engineering. His recognitions include the IEEE Information Theory Group Prize Paper Award in 1984, an honorary doctoral degree from the Technical University of Vienna in 1993, the 1994 IEEE Richard W. Hamming Medal, the 1994 Eduard Rhein Basic Science Award (jointly with A.J. Viterbi), the 1996 Marconi International Fellowship Award, and the 1997 Australia Technology Prize.

Roy Timo is a Research Fellow with the Institute for Telecommunications



Research at the University of South Australia. Dr. Timo received the Bachelor of Engineering (Hons.) and Ph.D. degrees from The Australian

National University in July 2005 and December 2009 respectively. He was a NICTA-enhanced Ph.D. candidate at NICTA's Canberra Research Laboratory. He held a Visiting Postdoctoral Research Associate position with the Department of Electrical Engineering at Princeton University in 2011 and 2012. He is a member of IEEE and the IEEE Information Theory Society.

10.3 Vorträge von Gästen

02.11.2010	Prof. Aydin Sezgin, Institute of Telecommunications and Ap-			
	plied Information Theory, Universität Ulm:			
	The Multi-pair Two Way Relay Network: Rate Regions and			
	Duality			
	Duality			

- 02.11.2010 Anas Chaaban, Ph.D. student, Institute of Telecommunications and Applied Information Theory, Universität Ulm:
 Gaussian Multiple Access Channels with Interference
- 02.11.2010 **Sara Al-Sayed**, Ph.D. student, Institute of Telecommunications and Applied Information Theory, Universität Ulm:
 Secrecy in Gaussian MIMO Bidirectional Broadcast Channels:
 Transmit Strategies
- 08.11.2010 Dr. **Jossy Sayir**, Department of Engineering, Signal Processing Group, University of Cambridge, United Kingdom:
 Message Passing using Ranked Symbol Lists
- 07.12.2010 Dipl.-Phys. **Anita Widmann**, Forschungsförderung & Technologietransfer (ForTe), Technische Universität München:
 Patentierung und Verwertung von Forschungsergebnissen
- 21.12.2010 Prof. **Toni A.M.J. Koonen**, Department of Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology, Netherlands:
 Research Activities in the Electro-optical Communication Systems Group at Eindhoven University of Technology
- 10.01.2011 **Stefano Rini**, Ph.D. student, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois at Chicago, IL, USA: On the Cognitive Interference Channel
- 14.01.2011 **Bernd Bandemer**, Ph.D. student, Department of Electrical Engineering, Stanford University, CA, USA:
 Deterministic Interference Channels with more than Two User Pairs
- 22.03.2011 Prof. **Michèle Wigger**, Communications and Electronics Department, Telecom ParisTech, Paris, France:
 Constrained Wyner-Ziv Source Coding
- 11.04.2011 Dr.-Ing. Michel Ivrlac, Lehrstuhl für Netzwerktheorie und Signalverarbeitung, TU München:
 The Potential of Compact Arrays in Gain, Diversity, Multiplexing and Multiuser Scenarios
- 14.04.2011 Dr. Francesco Rossetto, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen:
 Design and Analysis of Random Access Networks with Interference Alignment
- 03.06.2011 Prof. **Peter Marbach**, Bahen Center for Information Technology (BCIT), University of Toronto, Canada:
 Multihop Wireless Networks A Vision Becoming Reality
- 08.06. 2011 Markus Stinner, Absolvent im Diplomstudiengang Elektrotechnik, Universität Ulm:
 On Construction and Decoding of Partial Unit Memory Codes based on Gabidulin Codes



Nebenstehend sind diejenigen 61 Vorträge von Besuchern des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik zusammengestellt, die nicht im Rahmen der in Kapitel 3.6 und 3.7 aufgeführten Seminare gehalten wurden.

Die Vorträge am 21.07.2011 liefen im Rahmen des *Birthday Colloquium* on the Occasion of Prof. Joachim Hagenauer's 70th Birthday, worüber wir im Kapitel 9.5 berichten.

Daneben soll hier noch die Interview-Serie im Rahmen des Diplomandenseminars angeführt werden. In unregelmäßigen Abständen werden erfahrene Professoren eingeladen, die von unseren Doktoranden über ihren Werdegang befragt werden. Im Berichtszeitraum gab es vier solcher Interviews mit drei Professoren unserer Fakultät und einem Gastprofessor:

23.11.2011:

- Professor Joachim Hagenauer,
 Emeritus des Lehrstuhls für
 Nachrichtentechnik, TU München
- Prof. Frank R. Kschischang,
 E. S. Rogers Sr. Dept. of Electrical and Computer Engineering,
 University of Toronto, Canada

14.12.2011:

Professor Josef A. Nossek,
 Ordinarius des Lehrstuhls für
 Netzwerktheorie und Signalverarbeitung, TU München

04.04.2012:

 Professor Jörg Eberspächer,
 Ordinarius des Lehrstuhls für Kommunikationsnetze, TU München



10.06.2011	Prof. Raymond Yeung , Department of Information Engineering, The Chinese University of Hong Kong, China: Refinement of Two Fundamental Tools in Information Theory
15.06.2011	Hassan Ghozlan , Ph.D. student, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA: Interference Focusing for Simplified Optical Fiber Models with Dispersion
22.06.201	Dr. Baris Nakiboglu , Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA: Multi-layer Bit-wise Unequal Error Protection for Variable Length Blockcodes with Feedback
27.06.2011	Dr. Simone Redana , NSN Research – Radio Systems, Nokia Siemens Networks, München: Relays in LTE-advanced (within the course <i>Cooperative Communications</i>)
08.07.2011	Prof. Johannes Huber , Lehrstuhl für Informationsübertragung, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: Unique Word Prefix OFDM (UW-OFDM): An Overview
11.07.2011	Dr. Ayfer Ozgur , École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland: Scalable Wireless Networks
15.07.2011	Dr. Gottfried Lechner , Institute for Telecommunications Research, University of South Australia, Adelaide, Australia: The Two-way Relay Network with Arbitrarily Correlated Sources and an Orthogonal MAC
21.07.2011	Prof. Ezio Biglieri , Universitat Pompeu Fabra, University of California, Los Angeles, CA, USA: Joachim Hagenauer and Italy: A Marriage made in Heaven?
21.07.2011	Prof. Daniel J. Costello , University of Notre Dame, IN, USA: The Secret Life of Joachim Hagenauer
21.07.2011	$Prof. \textbf{Anthony Ephremides}, University of Maryland, MD, USA: \\ Moon (C) ode$
21.07.2011	Prof. Hans-Andrea Loeliger , ETH Zürich: Soft Bits, Likelihoods and Filters
21.07.2011	Prof. John Proakis , Northeastern University, Boston, MA, USA: Reminiscing on my Two Visits to LNT
21.07.2011	Dr. Gottfried Ungerböck , formerly IBM Zurich Research Lab, Switzerland: First Encounters
21.07.2011	Prof. Sergio Verdú , Princeton University, NJ, USA: 7 BSE
13.09.2011	Dr. Gareth Middleton , Rice University, Houston, TX, USA: How do Flows of Information Interact in Networks?

06.10.2011	Systems, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden: Modulation Optimization for Noncoherent Optical Systems
02.11.2011	Prof. Frank R. Kschischang , E. S. Rogers Sr. Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada: Subspace Codes and Network Coding (Part I)
10.11.2011	Prof. Igal Sason , Department of Electrical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel: On Concentration and Revisited Large Deviations Analysis of Binary Hypothesis Testing
21.11.2011	Dr. René-Jean Essiambre , Bell Labs, Alcatel-Lucent, Holmdel, NJ, USA: Information Theory Applied to Optical Fibres: the Fibre Channel
21.11.2011	Prof. Andrew C. Singer, Department of Electrical & Computer Engineering, University of Illinois, Urbana, IL, USA: Signal Processing for Optical Communication Systems: An Open Discussion
22.11.2011	Dr. Muhammad Usman , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: Optimized Pulse Shaping for Efficient Performance of Digital Backward Propagation (DBP) in 112 Gbit/s DP-QPSK Transmission
23.11.2011	Prof. Frank R. Kschischang , E. S. Rogers Sr. Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto, Canada: Subspace Codes and Network Coding (Part II)
24.11.2011	Prof. Erik Agrell , Department of Signals and Systems, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden: Bandlimited ISI-free Transmission over Intensity-modulated Optical Links
30.11.2011	Prof. Matthieu Bloch , Georgia Tech, Metz, France: Fundamental Mechanisms of Physical-layer Security
13.12.2011	DiplIng. Jan Hendrik Franke , Institute of Technology (KIT), TU Karlsruhe: Implementation of a Channel Simulator for Free-space and Fiber Optical Communication Systems and Investigation of Next Generation Free-space Optical Modulation Formats
15.12.2011	DrIng. Georg Böcherer , Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik, RWTH Aachen: Capacity-achieving Probabilistic Shaping
16.02.2012	Prof. Stephan ten Brink , Bell Labs/Alcatel-Lucent, Stuttgart: On Thresholds of Low-Density Parity-Check Codes with Structure
12.03.2012	Prof. David Declerq , ETIS-ENSEA Lab., Universitè de Cergy-Pontoise, France: Nonbinary LPCD-Codes





12.03.2012	Prof. Claudio Weidmann , ETIS-ENSEA Lab., Université de Cergy-Pontoise, France: A Fresh Look at Coding for q-ary Symmetric Channels
12.03.2012	Dr. Ingmar Land , Institute for Telecommunications Research, University of South Australia, Adalaide, Australia: Extremes of Error Exponents
19.03.2012	Prof. Robert Fischer , Institute of Communications Engineering, Universität Ulm: Der Goldene Schnitt (in) der Nachrichtentechnik
20.03.2012	Prof. Upamanyu Madhow , ECE Department, University of California, Santa Barbara, CA, USA: Millimeter Wave Communication: A Systems Perspective
30.03.2012	M.Sc. Shirin Saeedi Bidokhti , École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland: On Broadcasting and Multicasting two Degraded Messages
23.04.2012	Prof. Giuseppe Caire , Viterbi School of Engineering, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA: Massive and Dense: How to Achieve x100 Capacity Increase in Wireless Networks
24.04.2012	M.S. Mansoor I. Yousefi , The Edward S. Rogers Sr. Dept. of Electrical & Computer Engin., University of Toronto, Canada: Information Transmission over Optical Fibers using the Nonlinear Fourier Transform
04.05.2012	DrIng. Meik Dörpinghaus , Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik, UMIC Research Center, RWTH Aachen: On the Achievable Rate of Stationary Fading Channels
04.05.2012	Prof. Daniela Tuninetti , Department of Electrical & Computer Engineering, University of Illinois at Chicago, IL, USA: Towards Understanding the Fundamental Limits of Practical Cognitive Radio
23.05.2012	DiplPhys. Anita Widmann , TUM Patent- und Lizenzbüro, DiplPhys. Thomas Körfer , Mitscherlich & Partner, München: Patentrecht im Allgemeinen, Softwareschutz sowie Erfindungs- und Patentwesen an der TUM im Speziellen
25.05.2012	Prof. Pablo Piantanida , Department of Telecommunications, Supélec, Gif-sur-Yvette, France: Selective Coding Strategy for Composite Relay Channels
08.06. 2012	Prof. Edmund Yeh , Northeastern University, Boston, USA: Polar Codes for Multiple Access Channels
26.06.2012	Dr. Luca Barletta, Department di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy: Computing and Achieving the Constrained Capacity of the Wiener Phase Noise Channel
18.07.2012	Dimitris Papailiopoulos , Ph.D. student, Dept. of Electrical Engineering, University of Southern California, CA, USA: Locally Repairable Codes: Novel Erasure Codes for Big Data

- 14.08.2012 **Seçkin Anıl Yıldırım**, Ph.D. student, Hacettepe University, Ankara, Turkey:

 Compress-forward Relaying for Broadcast Relay Channels
- 17.08.2012 Prof. **Igal Sason**, Department of Electrical Engineering, Technion Israel Institute of Technology, Haifa, Israel:
 On the Entropy of Sums of Bernoulli Random Variables via the Chen-Stein Method
- 31.08. 2012 Victoria Kostina, Ph.D. student, Department of Electrical Engineering, Princeton University, NJ, USA:

 Lossy Joint Source-Channel Coding in the Finite Blocklength Regime
- 13.09.2012 Dr. Roy Timo, Institute for Telecommunications Research,
 University of South Australia, Adelaide, Australia:
 Source Coding Problems with Conditionally Less Noisy Side
 Information
- 14.09.2012 Dr. **Nikhil Karamchandani**, Dept. of Electrical Engineering, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA: Network Computing: Limits and Achievability
- 20.09. 2012 **Mine Alsan**, Ph.D. student, Lab. of Information Theory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland: Extremality Properties for Gallager's Random Coding Exponent



11 NAV-Lehrstuhl

Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation

Christoph Günther und Patrick Henkel

Our research focused on precise point positioning with satellite navigation (Galileo, GPS). Absolute carrier phase positioning requires that biases are accuratly estimated. This is an illconditioned problem with observables that can be separated only over longer periods of time. Further steps in the estimation of these biases were made Platforms with several receivers with a fixed or slightly variable separation were studied as well. Various algorithms for determining the orientation of that platform were developed. This work also led to the founding of the startup company Advanced Navigation Solutions.

Various other projects were concerned with precise and reliable positioning, including also the determination of the position of geostationary satellites, and cooperative swarm navigation with image-based relative positioning.

Teaching was extended to three additional lectures, leading to a total of six lectures, two laboratories and one colloquium. The work in the lab on *Satellite Communication* led to the refurbishment of the 25 meter antenna in Raisting. First signals could be tracked and analysed.

Chen Zhu and Dr. Gabriele Giorgi joined the Institute for Communications and Navigation, while Ronald Böhnke and Kaspar Giger left the team. It has been a pleasure working with them. Their contributions were highly appreciated.

Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation (NAV) wird verwaltungstechnisch dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik zugerechnet und nutzt dessen Infrastruktur. Derzeit beschäftigt unser Lehrstuhl fünf wissenschaftliche Mitarbeiter:

- Dr.-Ing. Patrick Henkel, der 2011 mit der Habilitation begann,
- Dr. Gabriele Giorgi (seit 07/2011),
- Dipl.-Phys. J. Sebastian Knogl,
- Zhibo Wen, M.Sc., und
- Chen Zhu, M.Sc. (seit 04/2012). Die vier zuletzt genannten werden durch Drittmittel finanziert. Herr Dipl.-Ing. Ronald Böhnke ist nach Abschluss des Projektes GeReLEO (siehe Seite 119) an den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik gewechselt. Herr Dipl.-Ing. Kaspar Giger ist im Sommer 2012 in die Schweiz zurückgekehrt und schließt dort seine Promotion ab. Seinen Bericht finden Sie auf Seite 116.

Nachfolgend werden die beiden neuen Mitarbeiter kurz vorgestellt.

Dr. **Gabriele Giorgi** wurde 1981 in Rom geboren. Er erwarb den Bache-



lor-Abschluss in Luftund Raumfahrttechnik und den Master of Science in Raumfahrttechnik an der Universität Sapienza in Rom. Von 2007 bis

2011 arbeitete Gabriele Georgi als Assistent von Prof. P.J.G. Teunissen an der Technischen Universität Delft **Personelles**

Lehre

Forschung

Beitrag Henkel, Wen, Günther

Beitrag Wen, Henkel, Günther

Beitrag Giger, Günther

Beitrag Giorgi, Günther

Beitrag Knogl, Günther

Projekte

Akademische Arbeiten

Preise

Wissenschaftsgremien

Ausgründung

Publikationen in Zeitschriften

Publikationen in Sammelbänden

Eingeladene Vorträge

Vorträge im Kolloquium

Danksagung



in den Niederlanden. Dabei befasste er sich vor allem mit der Schätzung der räumlichen Orientierung von Plattformen anhand von Satellitensignalen. 2011 verteidigte er seine Doktorarbeit erfolgreich und nahm eine Stelle am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation an der TU München an. Er setzt hier seine Arbeiten zur Plattform-Orientierung fort. Hinzu kommen die hochgenaue Positionierung, Algorithmen zu RTK und die Integrität der Positionierung für Luftfahrtanwendungen.

Dr. Giorgi hat den ION GNSS Best Student Paper Award erhalten, wurde einer der Western Australia Innovators of the Year (beides 2010) und leitete eine Gruppe von Luft-und Raumfahrtingenieur-Studenten an der TU Delft, die 2011 den Nationale Luchtvaartprijs gewann. Außerdem erhielt er ein ESA-Stipendium, um am 4th ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies (NAVITEC 2008) teilzunehmen.

Chen Zhu, M. Sc., 1987 in Peking geboren, erwarb seinen B.Sc.-Ab-



schluss in Informationstechnik an der Fakultät für Automatisierung der Tsinghua Universität in China. Im Oktober 2009 nahm Chen Zhu

das Studium der Elektro- und Informationstechnik im Studiengang Master of Science in Communication Engineering (MSCE) an der Technischen Universität München auf. Er erhielt dabei vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst ein "Stipendium für ausländische Studenten". 2011 schloss er sein Studium als Jahrgangsbester mit Auszeichnung ab.

Während seines Studiums absolvierte Chen Zhu ein Industriepraktikum bei Trimble Terrasat GmbH. Seine Masterabeit über "High Accuracy Multi-link Synchronization in the LTE Downlink" verfasste er am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Die Ergebnisse wurden mit dem Best Paper Award im "IEEE Region 8 Student Paper Contest" ausgezeichnet. Seit April 2012 ist Chen Zhu wissenschaftlicher Mitarbeiter an unserem Lehrstuhl und befasst sich mit der Entwicklung von Algorithmen für die optische Navigation.

Lehre

Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation hat im Berichtszeitraum sieben Vorlesungen und zwei Praktika angeboten sowie ein Kolloquium organisiert. Wie bisher wurden die englischsprachigen Vorlesungen

- Satellite Navigation,
- Differential Navigation,
- Terrestrial Navigation

gelesen. Sie erklären die Grundlagen und die Verfahren der funkbasierten Navigation unter Verwendung modulierter Signale und mehrdeutiger Träger.

Im Rahmen des Habilitationsverfahrens von Dr. Henkel kamen die Vorlesungen Precise Point Positioning (PPP) und Inertial Navigation hinzu. PPP hat einen engen Bezug zu unserer Forschung auf dem Gebiet der absoluten trägerphasenbasierten Positionierung. Die Trägheitsnavigation ist eine wichtige Ergänzung in vielen Anwendungen. Die herausragenden Merkmale: "hohe Verfügbarkeit" und "geringe Störanfälligkeit" sind komplementär zur Satellitennavigation. Letztere ist hingegen extrem genau und weitestgehend frei von Versätzen.

Die Vorlesung Robot and Pedestrial Navigation von Dr. Robertson baut darauf auf. Hier werden Verfahren entwickelt, die häufig ebenfalls zu einer hohen Genauigkeit führen, insbesondere werden Karten als apriori-Wissen verwendet oder gleichzeitig geschätzt (SLAM). Ebenso wie Dr. Robertson sind die Dozenten Dr. Angermann und Dr. Dammann

der Vorlesung System Aspects in Signal Processing Mitarbeiter des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (kurz: DLR) in Oberpfaffenhofen.

Auch unsere Praktika haben sich sehr erfolgreich durchgesetzt. Im Satellite Navigation Laboratory entwickeln die Studenten 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.

Die Durchführung dieses Praktikums zur Satellitennavigation folgt einem sehr systematischen Schema. Demgegenüber erfordert das Satellite Communication Laboratory ein hohes Maß an Kreativität. Interaktion und Selbstständigkeit. Hier werden Komponenten zur Nutzung der 25 Meter Antenne Raisting-1 und zum Aufbau einer kleineren Antenne auf der Basis eines ausgemusterten Kuka-Roboters entwickelt. Dies erfolgt im Hinblick auf eine geplante Nutzung in Missionen (Mond, L1-Sonne-Erde, GNSS). Unter Verwendung der von Studenten erarbeiteten Steuerung der Großantenne wurden die GLONASS-CDMA-Signale gemeinsam mit dem DLR empfangen.

Durch die Arbeiten von P. Berthold hat diese Steuerung inzwischen ein Niveau erreicht, das man zum Industriestandard erheben könnte. Im Rahmen des Praktikums und von Abschlussarbeiten wurde zudem entwickelt: ein Testsender, das Konzept für ein *Autotracking Feed* und ein Empfänger, der unter anderem den Ranging- und Telemetrie-Standard der ESA abbildet.

Forschung

Der Forschungsschwerpunkt lag auch in diesem Berichtszeitraum wieder im Bereich der Trägerphasenpositionierung. Nachdem es in der vergangenen Periode gelungen war, die Trägerphasenmehrdeutigkeiten unter gewissen Voraussetzungen zuverlässig zu schätzen, ging es nun in einem ersten Themenfeld darum, diese Voraussetzungen zu erfüllen bzw. deren Notwendigkeit zu mindern.

Bei ersterem wurden Fortschritte in der Schätzung der Versätze zwischen den Signalen (Biases) erzielt. Diese sind entscheidend in allen Verfahren, die unterschiedliche Signale verwenden, und damit insbesondere auch in der Trägerphasenpositionierung. Das Gleichungssystem für die Schätzung der Versätze enthält reellwertige und ganzzahlige Unbekannte, ist hoch-dimensional und schlecht konditioniert. Viele Parameter lassen sich nur auf Grund ihres unterschiedlichen zeitlichen Verhaltens trennen, was bei gewissen Modellannahmen erst nach Stunden möglich ist. Zudem müssen neben klassischen Einflüssen durch Ionosphäre, Troposphäre, Mehrwegeausbreitung auch noch weitere Phänomene wie Phasenzentrumsvariationen der Antennen, deren relative Verdrehung, Erdgehzeiten, usw. berücksichtigt werden. Mit den in unserem Beitrag Versätze zur absoluten Trägerphasenpositionierung beschriebenen Ergebnissen sind wir der Vision einer sofortigen absoluten Trägerphasenschätzung (instantaneous precise point positioning) ein Stückchen näher gerückt. Das Thema wird uns aber weiter beschäftigen. Mehr dazu in den Beiträgen von Patrick Henkel et al. und Zhibo Wen et al. auf den beiden nächsten Seiten.

Eine Möglichkeit, die Schätzung der Mehrdeutigkeit zu unterstützen, ergibt sich durch die Berücksichtigung von Nebenbedingungen, wie sie zum Beispiel bei der Anbringung mehrerer Antennen auf einer Plattform entstehen. In diesem Fall ist die lokale Geometrie einigermaßen fest und a priori bekannt (hard and soft constraints). Unser Entwurf eines zentimetergenauen Systems zur trägerphasenbasierten Positions- und Lagebestimmung mit kostengünstigen GPS-Boards wurde auf dem European Satellite Navigation Competition ausgezeichnet und hat zur Ausgründung von Advanced Navigation Solutions – ANAVS GmbH geführt.

Harte Nebenbedingungen zur Ermittlung der Empfängerposition waren auch der Inhalt der Promotion von Dr. Giorgi in Delft. Er konnte seither an der TUM zeigen, dass solche Nebenbedingungen nicht nur bei der Bestimmung der Orientierung, son-

dern auch für die Bestimmung der Position hilfreich sind. Weiter konnten Ergebnisse mit Ungleichungen als Nebenbedingungen erzielt werden

Tatsächlich ist die Plattformorientierung in den meisten Steuerungsvorgängen von großer Bedeutung, insbesondere bei Flugzeugen, Schiffen und Kraftfahrzeugen, aber auch bei Baumaschinen und vielem mehr. Entsprechend wurde sie ebenfalls in die Mehrfrequenz- und Mehrsatelliten-Regelschleifen integriert, indem diese durch die Komponente "Mehrantennen" erweitert wurde. Diese Erweiterung liefert nicht nur Position, Zeit und Orientierung, sondern führt auch gleichzeitig zu mehr Robustheit, indem die Mehrwege- und Interferenzkomponenten unterdrückt wer-

Bei Verwendung mehrerer Antennen ist die Reakquisitionsfähigkeit der gemeinsamen Regelschleife von besonderem Nutzen, müsste doch sonst ein sehr großer Raum (Zeit, Frequenz und Richtung) durchsucht werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind im Beitrag Schätzer für Mehrantennen-, Mehrfrequenz- und Mehrsatelliten-Systeme auf Seite 116 zusammengefasst.

In Bremen hat die DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH) das erste CAT-Landesystem auf der Basis von GPS außerhalb der USA in Betrieb genommen. Der Erweiterung auf CAT III Autoland steht insbesondere die schwierige Detektion von Gradienten im Ionosphärenplasma im Wege. Da im Augenblick nur Signale auf einer einzigen Frequenz regulatorisch für die Luftfahrt nutzbar sind, dürfen die Algorithmen nur diese Signale verwenden. Hier ist es gelungen, die Arbeiten von Khanafseh und Pervan sowie Belabbas systematisch zu erweitern und damit aus einer minimalen Konfiguration von Messempfängern eine maximale Aussagekraft zu ziehen. Hierüber berichten wir im Beitrag Ionospheric Anomalies Detection with GNSS Carrier Phase Measurements auf Seite 117.

Im Berichtszeitraum 2008–2010 wurde ein Konzept zur Verbesserung von Datenrate und Echtzeitverfügbarkeit der satellitenbasierten Erd-



beobachtung entwickelt. Spezifisch wurde das Antennensubsystem eines geostationären Relay-Satelliten entworfen. Ein besonders einfaches System ergab sich dabei, wenn der sendende Erdbeobachtungssatellit seine Signale so aufbereitet, dass sie frequenz- und zeitsynchron mit einer Referenz am empfangenen Relay-Satelliten ankommen. Dies erfordert allerdings, dass die Positionen der einzelnen Satelliten sehr genau bekannt sind. Bei niedrigfliegenden Erdbeobachtungssatelliten kann die Schätzung mit Hilfe von GPS erfolgen. Das geostationäre Relay liegt jedoch außerhalb des Beleuchtungsbereichs von GPS. Die Leistungsfähigkeit eines Systems, das die Kommunikationssignale der Erdbeobachtungssatelliten verwendet, ist im Beitrag Präzise Positionierung von geostationären Datenrelais auf Seite 118 beschrieben.

Im Kontext der Exploration wurden neue Konzepte mit sehr vielen autonomen Plattformen entwickelt, die teilweise Messdaten untereinander austauschen (Schwarmexploration). Auch hier sind typischerweise keine externen Referenzsysteme wie GPS vorhanden. Wir wurden eingeladen, optische Navigationsverfahren für diese Anwendung zu untersuchen. Von besonderem Interesse sind dabei Szenarien, bei denen Plattformen mindestens paarweise große Bildbereiche gemeinsam sehen. Hier stellt sich die Aufgabe, eine 3D-Karte zu erzeugen sowie die Position relativ zu dieser Karte zu bestimmen - Cooperative Visual SLAM.

Bevor auf Seite 119 über unsere Drittmittelprojekte berichtet wird und die Akademischen Arbeiten und die Publikationen aufgelistet werden, folgen fünf ausführlichere Beschreibungen laufender Arbeiten.

11 NAV-Lehrstuhl

Precise point positioning requires the knowledge of satellite phase and code biases. These biases are determined with global networks of at least 40 reference stations. These stations track the GPS carrier phases of 7 to 12 satellites on two frequencies leading to about 800 integer ambiguities to be resolved for precise bias estimation. Today, multipath and other modeling errors prevent a resolution of all integer ambiguities. Current state-of-art ambiguity resolution techniques like LAMBDA include a search, which is too complex to be applied to large geodetic networks.

Therefore, a new ambiguity resolution technique has been developed which divides the ambiguities into a real-valued and an integer-valued subset, and uses the best integer equivariant estimation and a sequential fixing to achieve a good trade-off between a small mean square error and a moderate complexity.

Absolute trägerphasenbasierte Positionierung

Patrick Henkel, Zhibo Wen und Christoph Günther

Für die Bestimmung der Phasen- und Codebiases der Satelliten werden heute globale Netzwerke von mindestens 40 Referenzstationen verwendet, die Code- und Trägerphasensignale von jeweils sieben bis zwölf Satelliten auf zwei Frequenzen empfangen. Daraus resultieren ca. 800 ganzzahlige Mehrdeutigkeiten, die geschätzt werden müssen.

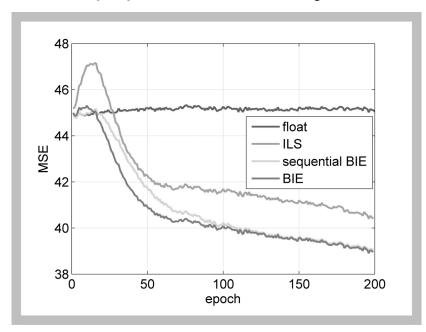
Diese Mehrdeutigkeitsauflösung ist aufgrund von Mehrwegefehlern und Modellierungsfehlern schwierig, so dass heute nur ein Subset von Mehrdeutigkeiten aufgelöst werden kann. Aus Komplexitätsgründen verwendet man hierfür vor allem sequentielle Verfahren.

Daneben sind zwei Verfahren mit einem Suchprozess verbreitet: Das erste ist das sogenannte LAMBDA-Verfahren, das den quadratischen Fehler der Mehrdeutigkeitsauflösung minimiert. Das zweite Verfahren ist der sogenannte BIE-Schätzer, der den mittleren quadratischen Fehler der Schätzung sämtlicher ganzzahliger und reellwertiger Parameter minimiert. Beide Verfahren beinhalten eine rechenintensive Suche, so dass sie zur Schätzung von hochdimensi-

onalen Parametern nicht direkt angewendet werden können.

Daher wurde ein Verfahren entwickelt, das den optimalen BIE-Schätzer mit einem sequentiellen Schätzverfahren kombiniert, um einen guten Kompromiss zwischen Komplexität und mittlerem quadratischen Fehler zu erreichen. Dieses Verfahren beginnt zunächst mit einer gemeinsamen reellwertigen Schätzung der Mehrdeutigkeiten, Phasen- und Codebiases mit einem Kalman-Filter. In einem zweiten Schritt wird dann ein Subset von Mehrdeutigkeiten anhand der Kovarianzmatrix ausgewählt. Anschließend werden die ausgewählten Mehrdeutigkeiten mit einer ganzzahligen Transformation weitestgehend dekorreliert. Die dekorrelierten Mehrdeutigkeiten werden erneut in zwei Subsets aufgeteilt, wobei dem ersten Subset diejenigen Mehrdeutigkeiten zugeordnet werden, die mit einer vorgegebenen Fehlerrate fixiert werden können. Im nächsten Schritt wird der BIE-Schätzer angewandt, wobei die dekorrelierten Mehrdeutigkeiten des zweiten Subsets als ganzzahlig und die verbleibenden nicht dekorrelierten Mehrdeutigkeiten als rellwertige Größen betrachtet werden. Schließlich werden die geschätzten Mehrdeutigkeiten noch in den ursprünglichen Raum rücktransformiert und die Messungen der nächsten Epoche verarbeitet.

Simulationen zeigen, dass unser Verfahren die Konvergenz des Kalman-Filters erheblich beschleunigt, da die Ganzzahligkeit der Mehrdeutigkeiten sowohl im BIE-Schätzverfahren als auch in der sequentiellen Fixierung berücksichtigt wird.



Mittlere quadratische Fehler (MSE) der Parameterschätzung: Der MSE des sequentiellen Best Integer Equivariant (BIE) Schätzers ist stets niedriger als der Integer Least-Squares (ILS) Schätzer und nahe dem optimalen BIE-Schätzer.

Literatur:

- [1] Brack, A.: Carrier Phase Ambiguity Estimation in Large Geodetic Networks. *Master Thesis, Lst. für Komm. & Nav., TUM*, Nov. 2011
- [2] Teunissen, P.: GNSS Best Integer Equivariant Estimation. In: *Proc. Int. Assoc. of Geodesy (IAG) Symp.*, vol. 128, pp. 422–427, Apr. 2005

Schätzung der Phasen- und Codebiases der Satelliten

Zhibo Wen, Patrick Henkel und Christoph Günther

Precise point positioning has recently become more and more popular since it does not need a reference station. However, the resolution of integer ambiguities needs the precise knowledge of both satellite and receiver phase and code biases.

A dual-stage Kalman filter has been analyzed to estimate satellite phase and code biases. The a priori knowledge of multipath and a rough range modeling were used to enhance the state space model. The integer ambiguities were sequentially fixed and the fixing considerably helped to improve the convergence and stability of the bias estimates.

A new ambiguity estimator – the *Best Integer Equivariant* (BIE) estimator – has also been implemented to minimize the mean squared error of the position estimates.

Die Trägerphase ermöglicht in der Satellitennavigation eine millimetergenaue Positionierung. Diese hohe Genauigkeit kann allerdings nur erreicht werden, wenn die zunächst unbekannten ganzzahligen Mehrdeutigkeiten der Trägerphase bestimmt wurden. Für die differentielle Positionierung können die Mehrdeutigkeiten mit einer kurzen Basislinie und einer Referenzstation aufgelöst werden, wobei ein Austausch der Messdaten zwischen der Referenzstation und dem mobilen Empfänger immer erforderlich ist.

Ein großer Vorteil einer absoluten Positionierung gegenüber einer relativen ist, dass dieser Austausch nicht erforderlich ist. Allerdings müssen, um die Mehrdeutigkeiten auflösen und damit eine zentimetergenaue Positionierung durchführen zu können, vorher die Phasen- und Codeversätze der Satelliten und Empfänger bestimmt werden. Der Schätzung der Versätze liegt dabei ein Modell zu Grunde, das den Versatz von jedem Satellit-Empfänger-Link als Summe von einem rein satellitenabhängigen Versatz und einem rein empfängerabhängigen Versatz darstellt. Dadurch wird die Dimensionalität des Zustandsvektors enorm reduziert.

Zur Schätzung der absoluten Phasen- und Codeversätze zwischen Satellit und Empfänger wurde auf allen Frequenzen ein kaskadiertes Kalman-Filter verwendet. In der ersten Stufe werden ein nichtdispersiver Geometrieterm, die ionosphärische Verzögerung sowie die Phasenversätze und die Mehrdeutigkeiten geschätzt. Die Mehrdeutigkeiten wurden im ersten Kalman-Filter sequentiell fixiert, wobei die Entscheidung von der Stabilität der reellwertigen Lösung abhängig gemacht wurde.

Der geschätzte Geometrieterm wird in einem zweiten Kalman-Filter als Messung betrachtet, aus der die geometrische Distanz, die Geometrieversätze der Satelliten und die troposphärische Zenitverzögerung bestimmt werden. Dabei wird eine Dekorrelation des farbigen Messrauschens durchgeführt.

Die Subtraktion von a-priori Informationen wie zum Beispiel eine grobe Modellierung der Geometrie oder eine Multipfad-Korrektur ermöglichen ein Zustandsraummodell mit erheblich niedrigerem Prozessrauschen. Das Ergebnis hat eine sehr stabile Schätzung der Phasenversät-

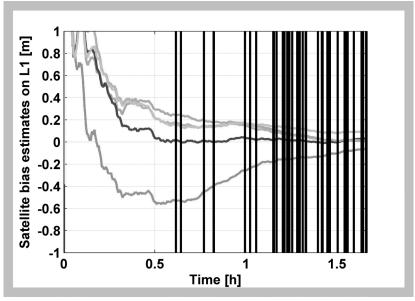


ze gezeigt, sowohl bei der Simulation als auch mit echten GPS-Daten.

Eine noch höhere Präzision der Biasschätzung konnte mit dem von P. Teunissen entwickelten *Best Integer Equivariant*-Schätzer (BIE) erreicht werden, der in ein Kalman-Filter integriert wurde. Dieses Schätzverfahren berücksichtigt die Ganzzahligkeit der Trägerphasen-Mehrdeutigkeiten und minimiert die mittleren quatratischen Fehler der Positions- und Biasschätzung.

Literatur:

- [1] Günther, C.: Satellite Navigation. Lecture Note, Lst. für Kommunikation & Navigation. To be published, 2013
- [2] Wen, Z.; Henkel, P.; Davaine, M.; Günther, C.: Satellite Phase and Code Bias Estimation with Cascaded Kalman Filter. In: *Proc. Europ. Navigation Conf., London, UK*, Oct. 2011
- [3] Teunissen, P.: GNSS Best Integer Equivariant Estimation. In: *Proc. Int. Assoc. of Geodesy (IAG) Symp.*, Vol. 128, pp. 422–427, Apr. 2005



Die Fixierung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten (vertikale Linien) reduziert die Anzahl der Unbekannten und beschleunigt damit die Konvergenz der Biasschätzung.



The need for reliable carrier-phase tracking raised the interest in robust satellite navigation receiver design. The joint tracking loop developed at our institute achieves a high robustness by combining the carrier-phase tracking of all received signals in a single control loop. The concept of multisatellite tracking is now extended to multiple antennas. This allows for a robust estimation of the receiver's orientation in space. The figure shows the precision during flight trials conducted with the support of TU Braunschweig.

In der Satellitennavigation werden zur genaueren Positionsbestimmung vermehrt trägerphasenbasierte Verfahren eingesetzt. Dabei bestimmt man die Anzahl der Wellenlängen zwischen Satellit und Empfänger, was zu einer Genauigkeit im Zentimeterbereich führt. Trägerphasenbasierte Verfahren benötigen aber einen stetigen Phasenverlauf. Um dies auch unter erschwerten Bedingungen sicherzustellen, entwickeln wir robuste Schätzverfahren.

Ein wesentlicher Beitrag ist das Joint Tracking-Verfahren, bei dem

Schätzer für Mehrantennen-, Mehrfrequenz- und Mehrsatelliten-Systeme

Kaspar Giger und Christoph Günther

die Signale verschiedener Satelliten nicht mehr wie bisher unabhängig verarbeitet, sondern gemeinsam in einer großen Regelschleife behandelt werden. Bei Testflügen mit der TU Braunschweig konnte dieses Verfahren erfolgreich verifiziert werden. Dabei wurden erstmals auch Signale auf unterschiedlichen Trägerfrequenzen gemeinsam verarbeitet.

Für einen autonomen Empfänger, dem keine Messungen einer nahen Referenzstation zur Verfügung stehen, ist die Positionsschätzung aus den Trägerphasenmessungen alleine sehr schwierig. Deshalb wurde mit dem *Position Domain Tracking* ein Verfahren entwickelt, das eine hohe Genauigkeit aufweist und zudem sehr robust ist [1].

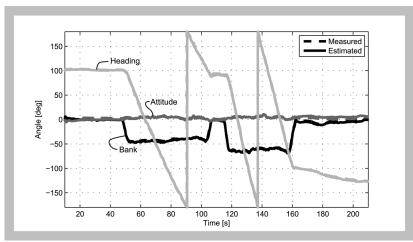
Das angesprochene Verfahren wurde nun weiterentwickelt, um zusätzlich Lageinformationen aus den empfangenen Satellitensignalen zu schätzen. Lageinformationen werden u.a. in der Luftfahrt zur Flugregelung benötigt. "Lage" bezeichnet in diesem Fall die dreidimensionale Orientierung des Flugzeugs, z.B. ausgedrückt durch die drei Euler-Winkel. Diese Information wird üblicherweise aus teuren Laserkreiseln abgeleitet. Sie kann jedoch auch mit mindestens drei Antennen aus den Navigationssignalen gewonnen werden. Zwei Ansätze wurden hierfür verfolgt. Beiden ist gemeinsam, dass ihre Antennen

mit Empfängern verbunden sind, die über eine gemeinsame Frequenz und Phasenreferenz verfügen. Bei der ersten Ausführung sind die Antennen weit voneinander entfernt und der Empfänger bestimmt die Orientierung der Basislinien. Dies entspricht auch dem Ansatz, wie er im GPS-Kompass von Giorgi und Teunissen verfolgt wurde (Mehrdeutigkeiten können auftreten).

Im zweiten Ansatz sind die Antennen dicht beieinander ($\lambda/2$), so dass Mehrdeutigkeiten nie auftreten. In diesem Fall wird die Richtung aus den Phasendifferenzen geschätzt. Die Basislinie ist zwingend klein und die Lage muss in einem nachgeschalteten Verfahren aus den Richtungsschätzungen der Satelliten relativ zur Plattform geschätzt werden.

Statt wie bisher in einem zweistufigen Verfahren, wird im hiesigen Ansatz die gesamte Schätzung in einem einzigen Filter kombiniert [2]. Dieses übernimmt somit die Aufgabe der Schätzung der Lage sowie der Regelung der Trägerphasen. Die Robustheit des Empfängers gegenüber starken Signalpegelschwankungen bleibt erhalten.

Dieses Verfahren wurde ebenfalls durch Testflüge in Braunschweig mit GPS-Signalen verifiziert. In der Grafik ist zu sehen, dass die Lageinformationen auch unter erschwerten Bedingungen mit Querneigungen von bis zu 60 Grad zuverlässig geschätzt werden. Die Unsicherheit bei einem Abstand von weniger als 10 Zentimetern zwischen den einzelnen Antennenelementen liegt im Bereich von wenigen Grad.



Geschätzte und mit einem Trägheitsnavigationssystem gemessene Lagewinkel.

Literatur:

- Giger, K.; Günther, C.: Position Domain Joint Tracking. In: *Proc. Navitec '2010, ESTEC, Noordwijk*, Dec. 2010
- [2] Giger, K.; Günther, C.: Multiantenna Multisatellite Code and Carrier Tracking. In: *Proc. European Navi*gation Conference (ENC), London, GB, Dec. 2011

Ionospheric Anomalies Detection with GNSS Carrier Phase Measurements

Gabriele Giorgi und Christoph Günther

Die Verwendung der Satellitennavigation bei der Landung von Flugzeugen erfordert die Einhaltung von sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen. Deshalb wird ein Bodenstationsnetzwerk (GBAS) benötigt, das ionosphärische Gradienten detektieren und dem Piloten mitteilen kann. Wir haben geeignete Algorithmen entwickelt, welche die präzise Detektion von zweidimensionalen Gradienten mit Hilfe von Trägerphasenmessungen ermöglichen.

Global Navigation Satellite Systems (GNSSs) are being increasingly employed for aviation applications to provide accurate position, velocity and attitude estimations. Ground-based GNSS receivers may be employed to aid navigation in safety-critical applications, such as precision approaches and landings. For these applications, integrity requirements dictate timely and reliable detection of disturbances and/or errors that may compromise safety through biased solutions. To this purpose, Ground-Augmentation based Systems (GBAS) are designed to enhance the navigation service, in terms of both accuracy and integrity. A GBAS is a network of several local antennas whose positions are known with high precision, and are employed to monitor some of the GNSS measurement error components.

One of the primary error sources is represented by ionospheric delays, which may account for several meters in the final position estimation error. Due to the spatial correlations of ionospheric delays, a GBAS network is well suited to monitor these biases and provide corrections to the approaching aircraft. Local ionospheric activity may cause large ionospheric delay spatial gradients. If undetected, such biases may affect the user with erroneous position estimates due to ineffective corrections transmitted by the GBAS.

This line of research tackles the problem of detecting bi-dimensional

ionospheric delay spatial gradients through GNSS carrier phase observations in small-scale networks. Carrier phase-based estimation is instrumental to achieve high-precision parameter estimation, with cm- or mm-level accuracy when the integer ambiguities are correctly resolved.

For small scale networks formed by antennas whose positions are known with high accuracy, ambiguity resolution can be performed reliably and quickly, ideally epoch-by-epoch. Carrier phase observations then enable the timely detection of very small ionospheric gradients. These are monitored by applying Detection, Identification, and Adaptation (DIA) techniques [1], which specify rigorous statistical procedures for the detection of biases and other model misspecifications.

However, the carrier phase ambiguities cannot always be assumed to be resolved prior to the application of statistical bias detection. Because of system initialization, new satellite signal acquisition, and/or cycle slips, one must address the problem of detecting ionospheric spatial gradients and simultaneously account for the integer nature of the carrier phase ambiguities. We are developing DIA techniques for carrier phase-based ionospheric gradient monitors, asses-

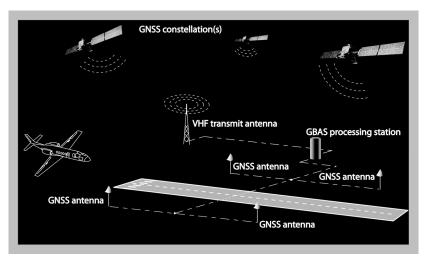


sing the method performance (such as minimum detectable biases, i.e., the minimum ionospheric gradient magnitude that can be detected with given probabilities of missed detection and false alarm) and developing fast algorithms for the timely detection of errors and/or bias among the GNSS measurements.

Preliminary results show how this problem can be resolved with an optimized distribution of multiple ground antennas [2], enabling detection of horizontal ionospheric gradients with single-epoch, single-frequency carrier phase observations.

Literature:

- [1] Teunissen, P. J. G..: Quality Control in Integrated Navigation Systems. In: *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 5, no. 7, July 1990
- [2] Giorgi, G.; Henkel, P.; Günther, C.: Testing of a Statistical Approach for Local Ionospheric Disturbances Detection. In: Proc. of IEEE Position Location and Navigation System Conference (PLANS), Apr. 2012



A GBAS serving an airport is composed by a number of GNSS antennas which collect satellite signal measurements, a processing station which elaborates the data, and a VHF antenna which broadcast the navigation information to the approaching aircraft.



Conventional positioning methods for geostationary (GEO) satellites are usually ground based ranging approaches, as defined in the ECSS standard, that achieve accuracies in the kilometre range. For most applications, such as maintaining television broadcast satellites in their bounding box, such positioning accuracies suffice. However, radio frequency and especially optical intersatellite links benefit from much higher accuracies down to the centimeter level. This becomes especially interesting for GEO data relays which receive signals from many different Low Earth Orbit (LEO) satellites in parallel and forward them to the ground.

In the GEOPOS project, funded by the agency of the German Aerospace Centre (DLR), a new approach for precise positioning of GEO data relays is developed. The concept is based on highly precise positioned LEO satellites serving as navigation satellites for the GEO satellite.

The main tasks within the project are the design and implementation of the positioning algorithms [1]. The design of a suitable filter to enable a

Präzise Positionierung von geostationären Datenrelais

Sebastian Knogl, Patrick Henkel und Christoph Günther

high positioning accuracy is decisive [2]. In addition, the ECSS telemetry protocol will be extendend by inserting navigation messages. Finally, the protocol shall be presented in a demonstration.

Die Positionierung von geostationären (GEO) Satelliten wird aktuell vor allem über bodengestütztes Ranging durchgeführt. Dabei werden Genauigkeiten im Kilometerbereich erreicht. Diese Präzision ist ausreichend, um TV-Übertragungssatelliten in den zugehörigen Bounding-Boxen zu halten. Zur Akquistion von Kommunikationssignalen bzw. zur Realisierung von Mehrfachzugriffssystemen bringen dagegen höhere Positionierungsgenauigkeiten entscheidende Vorteile.

Die Akquisitionszeiten bei der optischen Übertragung von einem Satelliten zu einem anderen können verkürzt werden und Totzeiten zwischen Übertragungen verschiedener Nutzer reduziert werden. Dies wird besonders bei geostationären Datenrelais wichtig, welche gleichzeitig mehrere Signale von verschiedenen niedrigfliegenden Satelliten empfangen.

Vor diesem Hintergrund wird im Vorhaben GEOPOS, finanziert durch das Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), ein neuartiges Ver-

fahren zur Positionierung von geostationären Datenrelais entwickelt. Das Konzept beruht auf Laufzeitmessungen zwischen GEO- und LEO-Satelliten und weist dabei einen wesentlichen Vorteil gegenüber Verfahren auf, die Messungen von der Oberfläche der Erde aus verwenden. Im letzteren Fall beeinflusst nämlich die Atmosphäre die Signalausbreitung, was zu zusätzlichen Unsicherheiten führt. Im Vergleich zur Satellitennavigation erlauben die wesentlich höheren Pegel der Kommunikationssignale eine erheblich genauere Schätzung der Signalphasen. Schließlich liefern LEO-Satelliten immer eine etwas günstigere Geometrie.

Die Hauptaufgaben im Projekt GEOPOS liegen in der Entwicklung der Positionieralgorithmen [1], wobei das Design eines geeigneten Filters entscheidend ist, um eine fortlaufend hohe Positioniergenauigkeit zu erreichen [2]. Darüber hinaus ist in dem Projekt eine Erweiterung des ECSS-Telemetrie-Protokolls um die Navigationsnachrichten geplant. Die Funktion des Protokolls soll in einer Demonstration gezeigt werden.

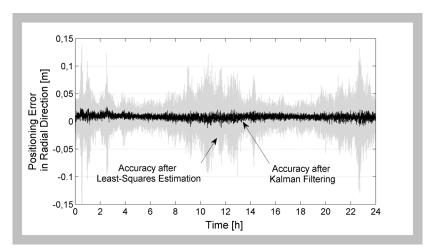
Literatur:

- [1] Knogl, S.; Henkel, P.; Günther, C.: Precise Positioning of a Geostationary Data Relay using LEO Satellites. In: Proc. 53rd IEEE Int. Symp. EL-MAR, Zadar, Croatia, Sept. 2011
- [2] Knogl, S.; Henkel, P.; Günther, C.: Accuracy Bounds for Positioning of Geostationary Data Relays using LEO Satellites. In: Proc. 54rd IEEE Int. Symp. ELMAR, Zadar, Croatia, Sept. 2012

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Erreichbare Positioniergenauigkeit in radialer Richtung.

Projekte

Im Berichtszeitraum 2010–2012 hat der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation vier von der deutschen Raumfahrtagentur geförderte Drittmittelprojekte bearbeitet:

Im Forschungsprojekt MIMGAL wurde von Zhibo Wen ein Verfahren zur Schätzung der Satelliten-Phasenbiases hergeleitet und mit echten SA-POS-Stationsdaten verifiziert. Für das gleiche Vorhaben hat Patrick Henkel Mehrfrequenz-Linearkombinationen zur Ionosphärenschätzung bestimmt.

Im Forschungsprojekt LINGAT hat Kaspar Giger ein gemeinsames Tracking der Trägerphasen mehrerer Satelliten, Frequenzen und Antennen entwickelt und in verschiedenen Flugversuchen im *aviationGate* erfolgreich getestet. Zhibo Wen hat seine Arbeiten zur Biasschätzung fortgesetzt und die Codebiases der GPS-Satelliten mit Hilfe eines weltumspannenden Netzwerks von Referenzstationen bestimmt.

Für das Projekt GEO-Datenrelais (GeReLEO) wurde von Sebastian Knogl eine Weitwinkel-Multibeam-Antenne entworfen und optimiert, sowie eine RF-Schaltmatrix entwickelt. Ronald Böhnke entwickelte die Synchronisierungsalgorithmen.

Für das Projekt GEOPOS konzipiert S. Knogl ein hochgenaues Positionierungsystem für Datenrelais von geostationären Satelliten.

Des Weiteren hat unser Lehrstuhl eine EXIST-Förderung erhalten, die Patryk Jurkowski, Juan Cardenas, Sonya Spiridonova und Philipp Berthold ein Stipendium gewährt und eine umfassende Sachmittelförderung für die Ausgründung Advanced Navigation Solutions beinhaltet.

Akademische Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurden zwei Bachelorarbeiten abgeschlossen:

- Martin Lülf: Evaluation of Synchronization Algorithms with USRP. Betreuer: R. Böhnke, Mai 2012.
- Philipp Berthold: Digital Antenna Control for the Ground Station Raisting 1. Betreuer: S. Knogl, Juni 2012.

Abgeschlossen wurden zwischen 10/2010 und 09/2012 fünf Master Theses:

- Mantas Pabubinskas: Interference Mitigation in GNSS. Betreuer: K. Giger, M. Sgammini (DLR), Apr. 2011,
- Siwei Wang: Distributed Cooperative Positioning for Next Generation Mobile Radio Systems.
 Betreuer: R. Raulefs (DLR),
 K. Giger, Sept. 2011,
- Chen Zhu: High Accuracy Multilink Synchronization in LTE Downlink. Betreuer: Dr. Dammann (DLR), Dr. Henkel, Sept. 2011,
- Andreas Brack: Precise Point Positioning: Tropospheric Mapping
 Functions and Best Integer Equivariant Estimation. Betreuer: Dr.
 Henkel, Z. Wen, Oct. 2011,
- Mathieu Davaine: Code Bias and Multipath Estimation with Cascaded Kalman Filter. Betreuer: Dr. Henkel, Z. Wen, Nov. 2011,

Preise

Dr. Patrick Henkel wurde 2011 von der Vodafone-Stiftung der *Förder-preis für Natur- und Ingenieurswissenschaften* für seine Dissertation "Reliable Carrier Phase Positioning" zuerkannt. Siehe auch Kapitel 9.2.

Sebastian Knogl erhielt den *Best Student Award* an der SatNEXIII Summer School (2011). Chen Zhu erhielt den *Best Paper Award* im IEEE Region 8 student contest (2012).

Tätigkeiten in Wissenschaftsgremien

- Mitglied der Mission Evolution Advisory Group (MEAG) der Europäischen Union (für Galileo und EGNOS),
- Mitglied im Fachausschuss 5.1 (Informations- und Systemtheorie) der ITG/VDE,
- Mitglied im Kuratorium für den Technologiepreis der Eduard-Rhein-Stiftung,
- Mitglied im Kuratorium der Carl-Cranz-Gesellschaft,
- Mitglied im Programmausschuss der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR),
- Mitgliedschaften in verschiedenen Tagungskommittees (ION ITM, ION GNSS, ELMAR).



Publikationen in Zeitschriften

Giorgi, G.; Teunissen, P.J.G.: Low-Complexity Instantaneous Ambiguity Resolution with the Affine-Constrained GNSS Attitude Model. – In: *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, accepted for publication, 2012

Giorgi, G.; Teunissen, P.J.G.; Gourlay, T.P.: Instantaneous GNSS-Based Attitude Determination for Maritime Applications. – In: *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 37, pp. 348–362, July 2012

Günther, C.; Henkel, P.: Reduced Noise, Ionosphere-free Carrier Smoothed Code. – In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 323–334, Jan. 2010

Günther, C.; Henkel, P.: Integer Ambiguity Estimation for Satellite Navigation. – In: *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, no. 7, pp. 3387–3393, July 2012

Henkel, P.; Günther, C.: Reliable Integer Ambiguity Resolution with Multi-Frequency Code Carrier Linear Combinations. – In: *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 90–103, Sept. 2010

Henkel, P.; Günther, C.: Reliable Integer Ambiguity Resolution: Multi-Frequency Code Carrier Linear Combinations and Statistical Attitude A Priori Knowledge of Altitude. – In: *Navigation*, vol. 59, no. 1, pp. 61–75, Spring 2012

Wen, Z.; Henkel, P.; Günther, C.: Multi-Stage Satellite Phase and Code Bias Estimation. – In: *Automatika*, accepted for publication, 2012



Publikationen in Tagungsbänden

Giger, K.; Günther, C.: Position-Domain Joint Satellite Tracking. – In: *Proc. 5th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies (Navitec 2010)*, IEEE, Noordwijk, The Netherlands, pp. 1–8, Dec. 2010

Giger, K.; Günther, C.: Multisatellite Tracking GNSS Receivers in Multipath Environments. – In: *Proc. 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation*, Portland, OR, USA, pp.1140–1151, Sept. 2011

Giger, K.; Günther, C.: Multiantenna Multisatellite Code and Carrier Tracking. – In: *Proc. European Navigation Conference 2011*, Royal Institute of Navigation, London, Great Britain, pp. 1–8, Nov. 2011

Giger, K.; Henkel, P.; Günther, C.: Joint Satellite Code and Carrier Tracking. – In: *Proc. ION 2010 International Technical Meeting of the Institute of Navigation*, ION, San Diego, CA, pp. 636–645, Jan. 2010

Giger, K.; Knogl, J.S.: Introductory Course on Satellite Navigation – In: *Proc. of EDULEARN12 Conference*, Barcelona, Spain, pp. 6280– 6289, July 2012

Giorgi, G.; Henkel, P.; Günther, C.: Testing of a Statistical Approach for Local Ionospheric Disturbances Detection. – In: *Proc. of IEEE-ION PLANS*, South Carolina, USA, Apr. 2012

Greda, L.; Knüpfer, B.; Heckler, M.; Knogl, J.S.; Bischl, H.; Dreher, A.: A Satellite Multibeam Antenna for High-Rate Data Relays. – In: *Proc. of the 32. ESA Antenna Workshop*

on Antennas for Space Applications, Noordwijk, The Netherlands, Oct. 2010

Greda, L.; Knüpfer, B.; Heckler, M.; Knogl, J.S.; Bischl, H.; Dreher, A.: A Multibeam Antenna for Data Relays for the German Communications Satellite Heinrich-Hertz. – In: *Proc. of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation (Eu-CAP)*, pp. 1–4, Barcelona, Spain, Apr. 2010

Henkel,, P.: Reduction and Optimization of Almanac transmission for GNSS Satellites. – In: *Proc. of the 53rd IEEE International Symposium ELMAR*, pp. 329–332, Sept. 2011

Henkel, P.; Cardenas, J.; Jurkowski, P.: Cascaded Heading Estimation with Phase Coasting. – In: *Proc.of 54th ELMAR Symposium*, Zadar, Croatia, Sept. 2012

Henkel, P.; Günther, C.: Reliable Carrier Phase Positioning with Multi-Frequency Code Carrier Linear Combinations. – In: *Proc. 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, pp. 185–195, Portland, OR, USA, Sept. 2010

Henkel, P.; Jurkowski, P.: Reliable Integer Ambiguity Resolution with Statistical Attitude A Priori Information. – In: *Proc. The International Union of Geodesy and Geophysics*, Melbourne, Australia, June 2011

Henkel, P.; Jurkowski, P.; Günther, C.: Differential Integer Ambiguity Resolution with Gaussian A Priori Knowledge and Kalman Filtering. – In: *Proc. 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation*, pp. 3881–3888, Portland, Oregon, USA Sept. 2011

Henkel, P.; Wen, Z.; Günther, C.: Estimation of Satellite and Receiver Biases on Multiple Galileo Frequencies with a Kalman Filter. – In: *Proc. ION 2010 International Technical Meeting*, pp.1067–1074, San Diego, California, Jan. 2010

Henkel, P.; Zhu, C.: Carrier Phase In-Teger Ambiguity Resolution with Inequality Constraints for GPS and Galileo. – In: *Proc. IEEE Statistical Signal Processing Workshop*, pp. 409–412, Nice, France, June 2011

Jurkowski, P.; Henkel, P.; Gao, G.; Günther, C.: Integer Ambiguity Resolution with Tight and Soft Baseline Constraints for Freight Stabilization at Helicopters and Cranes. – In: *Proc. ION 2011 International Technical Meeting*, pp. 336–346, San Diego, CA, USA, Jan. 2011

Jurkowski, P.; Henkel, P.; Günther, C.: GNSS based Attitude Determination with Statistical and Deterministic Baseline A Priori Information. – In: *Proc. ION Int. Techn. Meeting (ION-ITM)*, Newport Beach, CA, USA, Jan. 2012

Knogl, J.S.; Günther, C.: Mehrkeulenantenne für geostationäre Datenrelais – In: *3. Nationale Konferenz Satellitenkommunikation in Deutschland*, Bonn, Germany, Mar. 2012

Knogl, J.S.; Henkel, P.; Günther, C.: Precise Positioning of a Geostationary Data Relay using LEO Satellites.-In: *Proc. of the 53rd IEEE International Symposium ELMAR*, pp. 325 – 328, Zadar, Croatia, Sept. 2011

Knogl, J.S.; Henkel, P.; Günther, C.: Accuracy Bounds for Positioning of Geostationary Data Relays using LEO Satellites. – In: *Proc. of the 54th IEEE Int. Symposium ELMAR*, pp. 275–278 Zadar, Croatia, Sept. 2012

Knüpfer, B.; Bischl, H.; Dreher, A.; Greda, L.; Katona, Z.; Knogl, J.S.: GeReLEO – GEO Datenrelais für niedrigfliegende (LEO) Satelliten. – In: 2. Nationale Konferenz Satellitenkommunikation in Deutschland, Bonn, Germany, Mar. 2010

Rippl, M.; Schlötzer, S.; Henkel, P.: High Integrity Carrier Phase Based Positioning for Precision Landing using a Robust Nonlinear Filter. – In: *Proc. ION 2010 International Technical Meeting*, pp. 577–590, San Diego, CA, USA, Jan. 2010

Soualle, F.; Cattenoz, M.; Giger, K.; Zecha, C.: Improved Analytical Models of SNIR Degradation in Presence of Pulsed Signals and Impact of Code-Pulse Synchrony. – In: *Proc. 5th European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, Toulouse, France, Dec. 2011

Teunissen, P.J.G.; Nadarajah N.; Giorgi, G.; Buist P.J.: Low-Complexity Instantaneous GNSS Attitude Determination with Multiple Low-Cost Antennas. – In: *Proc. 23rd ION International Meeting*, Portland, OR, USA, Sept. 2011

Wen, Z.; Henkel, P.; Brack, A.; Günther, C.: Best Integer Equivariant Estimation for Precise Point Positioning. – In: *Proc. 54th IEEE International Symposium ELMAR*, Zadar, Croatia, Sept. 2012

Wen, Z.; Henkel, P.; Davaine, M.; Günther, C.: Satellite Phase and Code Bias Estimation with Cascaded Kalman Filter. – In: *Proc. European Navigation Conference 2011*, London, UK, Nov. 2011

Wen, Z.; Henkel, P.; Günther, C.: Reliable Estimation of Phase Biases of GPS Satellites with a Local Reference Network. – In: *Proc. 53rd IEEE Int. Symposium ELMAR*, pp. 321–324, Zadar, Croatia, Sept. 2011

Zhu, C.: High Accuracy Multi-Link Synchronization in LTE: Applications in Localization. – In: *Proc. Electrotechnical Conference (ME-LECON)*, pp. 908–913, Yasmine Hammamet, Tunisia, Mar. 2012

Eingeladene Vorträge

Giorgi, G.: GNSS Carrier Phase based Attitude Determination: Estimation and Applications. TU Delft, Delft Institute of Earth Observation (DEOS), 22.12.2011

Giorgi, G.: Binary Hypothesis Testing. Visit of Prof. Peter Teunissen, Oberpfaffenhofen, 09.03.2012

Henkel, P.: Single and Multi-frequency Differential GNSS. CCG, Oberpfaffenhofen, 20.10.2011

Henkel, P.: Reliable Integer Ambiguity Resolution. Visit of Prof. Peter Teunissen, Oberpfaffenhofen, 09.03. 2012

Henkel, P.: Advanced Navigation Solutions. Final presentation EXIST, LMU, 27.09.2012

Wen, Z.: Satellite Bias Estimation. Visit of Prof. Peter Teunissen, Oberpfaffenhofen, 09.03.2012

Vorträge im Kolloquium

07.12.2010 Dr. Alexandru Spletter, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: ARAIM – Utilization of Modernized GNSS for Aircraft-Based Navigation Integrity

18.01.2011 Dr. Frank Flechtner, Deutsches Geoforschungszentrum: Massenvariationen im System Erde aus CHAMP- und GRACE-Beob-achtungen

19.01.2011 Brian Julian, Massachusetts Institute of Technology: Distributed Control of Self-Organizing Hovering Robots

24.01.2011 Dr. Florian Dilssner, European Space Operations Centre: Dancing in the Dark – How GNSS Satellites Cross the Earth's Shadow

01.02.2011 Dr. Maorong Ge, Deutsches Geoforschungszentrum: Global PPP with Regional Augmentation for Instantaneous Ambiguity Resolution

16.05.2011 Dr. Mathieu Joerger, Illinois Institute of Technology: Measurement Error and Fault Models for Multi-Constellation Navigation Systems

23.05.2011 Dr. Olivier Julien, Ecole Nationale de l'Aviation Civile: Positioning using OFDM Signals

20.06.2011 Dipl.-Inf. Matthias Süss, German Aerospace Center, DLR: Applications of Precise and Robust Timing by Composite Clock

22.06.2011 Dr. A. Lee Swindlehurst, University of California, Irvine, and



Dr. Gonzalo Seco-Granados, Universitat Autònoma de Barcelona: OFDM Pilot Optimization for the Communication and Localization Trade-off

04.07.2011 Dr. Ralf Schmid, Technische Universität München: IGS Phase Center Model igs08.atx – Current Status and Future Improvements

11.07.2011 Dr. Herbert Landau, Trimble Terrasat GmbH: Trimble CenterPointRTx – A New Precision GNSS Positioning Technology and Service

18.07.2011 Dipl.-Ing. Manuel Cuntz, German Aerospace Center, DLR: Interference and Countermeasures for GNSS Receivers

25.07.2011 Dr. Thomas Pany, IFEN GmbH: Selected Software Receiver Specific Processing Techniques: Difference Correlators and Maximum-Likelihood Multipath Mitigation

08.09.2011 Dr. Jon-Paul Wells, University of Canterbury, New Zealand: The Canterbury Ring Laser Project

18.10.2011 Dr. Gabriele Giorgi, Institute for Communications and Navigation, TUM: Carrier Phase Integer Ambiguity Resolution with Geometrical Constraints

08.11.2011 Prof. Fabio Dovis, Politecnico di Torino, Instituto Superiore Mario Boealla: Recent Trends in GNSS Interference Mitigation and Spoofing Detection

10.01.2012 Prof. Thomas Wunderlich, Institute for Geodesy, TUM: Satellitengestützte Punktbestimmung – Geometrische Betrachtungen



24.01.2012 M.Sc. Carlos Javier Rodriguez Solano, Institute for Astronomical and Physical Geodesy, TUM: GNSS Orbit Modeling: Nonconservative Forces and Deviations from Nominal Attitude

06.03.2012 Dr. Jens Biele, DLR, Space Operations and Astronaut Training: Navigation of the Interplanetary Rosetta and Philae Spacecraft and the Determination of the Gravitational Field of Comets and Asteroids

08.03.2012 Prof. Peter Teunissen, Curtin University of Technology, Australia: Towards a Unifying Framework for GNSS Ambiguity Resolution: Problems and Solutions

21.05.2012 Dr. Stefan Schaer, Bundesamt für Landestopographie swisstopo, Center for Orbit Determination in Europe CODE, Berne, Switzerland: Overview of Relevant GNSS Biases

04.06.2012 Prof. Steffen Schön, Institute for Geodesy, Leibniz Universität Hannover: The Virtual GNSS Receiver – a Concept for Improved GNSS-based Navigation

02.07.2012 M.Sc. Thomas Kraus, Institute of Space Technology and Space Applications ISTA, University FAF Munich: Low Budget GNSS Jammer

09.07.2012 Dr. Etienne Favey, ublox AG, Thalwil, Switzerland: Navigation Challenges Faced and Solved by Low Cost Single-Frequency GNSS Receivers

11.07.2012 Prof. Eckehard Steinbach, Lehrstuhl für Medientechnik,

TU München: Towards Low-Latency Visual Localization

16.07.2012 Dipl.-Ing. Jamila Beckheinrich, German Research Center for Geosciences GFZ, Potsdam: WISDOM – GNSS-R based Flood Monitoring

Danksagung

Ich möchte Prof. Gerhard Kramer, Inhaber des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik, sowie Prof. Norbert Hanik und Dr. Christoph Hausl für ihre Gastfreundschaft am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik danken. Ebenso geht mein Dank an Prof. Günter Söder für die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung dieses Tätigkeitsberichtes.

Im Zusammenhang mit der Wiederinbetriebnahme der 25-Meter-Antenne in Raisting danke ich dem Landkreis Weilheim-Schongau sowie Herrn Jakob. Mein besonderer Dank geht an unsere Studenten Philipp Berthold, Quirin Funke und Martin Lülf, sowie an meinen Mitarbeiter Sebastian Knogl.



12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

Gerhard Kramer:

- Programmdirektor des Studiengangs MSCE, Communications Systems, der Fakultät EI (seit 2010)
- Mitglied im TUM Institute for Advanced Study (IAS) Advisory Council (seit 2011)
- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2011)
- Mitglied der Strukturkommission der Fakultät EI (seit 2011)

Norbert Hanik:

- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2005)
- Mitglied im Bachelor-Ausschuss der *School of Education* (seit 2005)
- Mitglied im Master-Ausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- Vorsitzender des BAFöG-Ausschusses der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Promotionsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- Vorsitzender des Koordinationsausschusses "Lehramt an Beruflichen Schulen" in der Fakultät EI (seit 2009)
- Vorsitzender des Berufungsausschusses der W2-Professur "Audiosignalverarbeitung" der Fakultät EI (2009 2011)
- Mitglied im Master-Ausschuss der School of Education (seit 2011)

Joachim Hagenauer:

- Vorstand des Internationalen Begegnungszentrums (IBZ) der Münchner 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 Neuerungen in der Infrastruktur
- 12.4 Zwischenbericht No. 6: LNTwww – ein webbasiertes Lerntutorial für die Nachrichtentechnik
- 12.5 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)
- Mitglied im Emerging Technologies Comittee der IEEE Communications Society (2009–2011)
- Fellow des *IEEE* (seit 2010)
- Mitglied im ITG-Fachausschuss 5.1: Informations- und Systemtheorie (seit 2011)
- Mitglied im IEEE Alexander Graham Bell Medal Committee (seit 2011)
- Berater und Co-Chair der IEEE European and North American Schools of Information Theory (seit 2011)
- Co-Chair im Programmkomitee des International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Aachen (2011)
- 1. und 2. Vizepräsident der *IEEE Information Theory Society* (2012, 2011)
- Editor von Foundations and Trends in Communications and Information Theory (seit 2012)
- Chair des 1st Munich Workshop on Bidirectional Communications and Directed Information, München (2012)
- Mitglied in den Programmkomitees der IEEE Konferenzen ITW (2010, 2012), CTW (2011), ICCN-CIT (2011), NC-Pro (2011), NetCod (2011), ICC-CT (2012), ISIT (2012), IZS (2012), Turbo Coding Symposium (2012), WCNC (2012)

Norbert Hanik:

 Mitglied der ITG-Fachgruppe 5.3.1 "Simulation und Modellierung optischer Komponenten und Systeme" (seit 1999)

Joachim Hagenauer:

- Fellow der *Information Theory (IT) Society* 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 Berufungsauschuss Kommunikationstheorie der TU Berlin (2012)

Christoph Hausl:

Mitglied im technischen Programmkomitee der Konferenz IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (2012)

12.3 Neuerungen in der Infrastruktur

Günter Söder und und Christoph Hausl

Die wichtigsten im Berichtszeitraum 2010–2012 getätigten Infrastrukturmaßnahmen unserer Lehr- und Forschungseinheit LNT/LÜT/NAV stehen im Zusammenhang mit dem hauseigenen Rechnerpool und der Vereinfachung der Netzwartung. Insbesondere sind hier folgende Aktivitäten unserer Systemadministratoren zu nennen:

- Inbetriebnahme der TUM-Campuslizenzen (Matlab, Windows, Office) und Portierung der Verteilerlisten auf TUM-Exchange,
- Umzug externer Web-Domains auf einen internen LNT-Hochverfügbarkeitscluster, Verschärfung der LRZ-Firewall-Regeln,
- Funktionskontrolle des gesamten Rechnerverbunds mit Linux-Management-Skripten, Automatisierung administrativer Aufgaben,
- Inbetriebnahme der von der Fakultät EI im Rahmen des Überlastprogramms bereitgestellten Monitore für Studentenrechner.

Im Namen aller Benutzer unserer Institutsrechner danken wir den Systemadministratoren Manfred Danzer, Martin Kontny, Joschi Brauchle, Sebastian Knogl (NAV), Markus Stinner sowie Ulli Brennenstuhl (bis 04/2012) und Tobias Fehenberger (ab 05/2012) herzlich für den großen Einsatz und ihre hervorragende Arbeit.

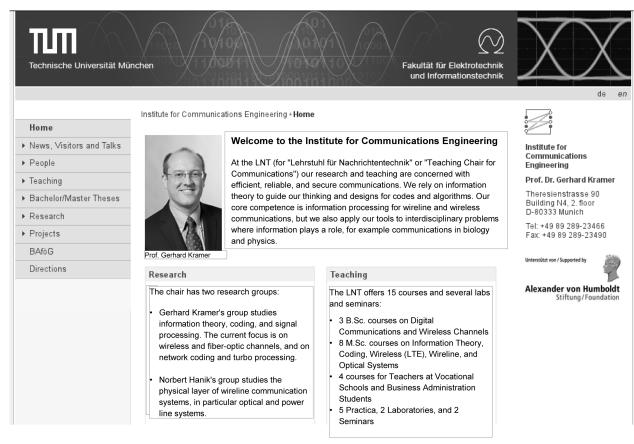
Stefan Dierks wurde mit der sehr wichtigen und äußerst arbeitsintensiven Aufgabe betraut, die gemeinsame Homepage für LNT (Prof. Kramer) und LÜT (Prof. Hanik) neu zu gestalten. Dabei gab es folgende Vorgaben:

- Der neue Web-Auftritt sollte moderner erscheinen als unsere alte Homepage von 2002.
- Das Corporate Design der TUM (Grundaufbau, Farben, Fonts usw.) sollte umgesetzt werden.
- Die Administration sollte nicht komplizierter werden als bei der bisherigen Homepage.



Inzwischen ist die auf dem Content-Managementsystem Typo 3 basierende Homepage fertig gestellt. Im Namen aller Mitarbeiter von LNT und LÜT danken wir Stefan für sein großes Engagement und die dabei gezeigte Kreativität für diesen administrativen Job, den er parallel zu seinen sonstigen Aufgaben (Forschungsprojekt, Lehrverpflichtung) quasi nebenbei erledigen musste.

Außerdem sollte unter der Rubrik "Neuerungen in der Infrastruktur" nicht unerwähnt bleiben, dass der LNT nach Abgabe mehrerer Räume, der Einstellung neuer Mitarbeiter und der gestiegenen Zahl an Gastwissenschaftlern inzwischen aus allen Nähten platzt.



Bildschirmabzug der Homepage http://www.lnt.ei.tum.de



Auf dem Höhepunkt der ersten Internet-Euphorie Ende der 1990er-Jahre wurde Günter Söder immer häufiger von Teilnehmern seiner Praktika gefragt, ob er seine beiden gerade fertig gestellten Online-Lehrsoftwarepakete LNTsim und LNTwin netzfähig machen könnte. Anfang 2001 fragte er seinen Kollegen Klaus Eichin, der sich zu Beginn seiner LNT-Laufbahn Anfang der 1970er-Jahre sehr intensiv dem Thema Einsatz des Computers in der Lehre gewidmet hatte, ob sie ein solch langfristig angelegtes und zeitaufwändiges Projekt wohl gemeinsam stemmen könnten. Nach reiflicher Überlegung entschlossen sie sich dazu. An dieser Stelle wechseln wir in unserem Bericht von der dritten zur ersten Person plural.

Da wir eine reine Portierung bestehender Programme für ineffizient hielten, beschlossen wir, etwas völlig Neues zu machen. Dies war der Beginn von LNTwww, einem Lerntutorial für die NachrichtenTechnik im world wide web.

12.4 Zwischenbericht No. 6: LNTwww – ein webbasiertes Lerntutorial für die Nachrichtentechnik

Klaus Eichin und Günter Söder

Vor Beginn der eigentlichen Arbeit 2001 gaben wir uns selbst zehn Gebote vor. In aller Kürze: Die Telekommunikationstechnik und alle zugehörigen Grundlagenfächer sollten in didaktisch aufbereiteter Form präsentiert werden. Neben den Bausteinen eines herkömmlichen Fachbuchs für Ingenieure (Texte, Grafiken, Gleichungen, Herleitungen, usw.) sollten auch multimediale Elemente verfügbar sein. Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Lehrgebieten sollten durch intensive Nutzung von Hyperlinks und eine konsistente Nomenklatur aufgezeigt werden. Und obwohl dem Nutzer viele Interaktionsmöglichkeiten geboten werden, sollte trotzdem stets ein zielgerichteter Weg zu erkennen sein.

Daneben sollte unser Internetangebot LNTwww je nach Vorwissen des Studenten zwei Lernmodi bereitstellen: Für Anfänger in einem Fachgebiet eignet sich das sequenzielle Lernen. Ähnlich einer Präsenzveranstaltung wechseln sich Theorieteile mit Übungen und interaktiven Aufgaben ab, die mit den bereitgestellten Multimedia-Modulen gelöst werden können

Fortgeschrittene sollten dagegen LNTwww als Tutorial nutzen. Das

bedeutet: Der Nutzer überprüft seine Kenntnisse über ein Fachgebiet anhand der bereitgestellten Aufgaben. Bei festgestellten Defiziten wird von LNTwww ein Sprung zum entsprechenden Theorieteil vorgeschlagen.

Bei der Realisierung des Tutorials ist vieles so abgelaufen, wie wir es uns vor zwölf Jahren erhofft hatten; wir mussten keines unserer "Zehn Gebote" revidieren.

Etwas unterschätzt hatten wir den Aufwand, für den wir zehn Jahre ansetzten. Nach nun fast zwölf Jahren fehlen von den endgültig 36 Semesterwochenstunden noch knapp vier, d. h., derzeit sind erst (schon?) etwa 90% fertig gestellt. Jährlich haben wir ca. 6000 Besucher.

Wir möchten heute all denen danken, die zum Erfolg von LNTwww beigetragen haben:

- unseren (Ex-)Kollegen Dr. Göbel,
 Prof. Hanik, Dr. Hindelang und
 Dr. Zangl, die teilweise als Co Autoren mitgewirkt haben,
- 30 Studenten, die in ihrer Diplombzw. Bachelorarbeit ein Kapitel vorbereitet oder ein Lernvideo/ Flashmodul realisierten,
- Martin Winkler, der 2001 in seiner Diplomarbeit das datenbankbasierte Autorensystem LNTwww konzipiert und realisiert hat,
- Yven Winter, seit seiner Diplomarbeit 2003 bis heute der Systemadministrator, der viele Verbesserungsvorschläge umgesetzt hat,
- Doris Dorn, die unzählig viele Texte – vermengt mit HTML- und LNTwww-Befehlen – in die Datenbank eingegeben hat.

Die Entwicklung von LNTwww war für uns ein sehr intensives Projekt, das uns aber sehr viel Spaß gemacht hat. Auch deshalb, weil wir viele positive Rückmeldungen erhielten. Vielleicht werfen auch Sie mal einen Blick auf unser frei zugängliches Angebot unter www.LNTwww.de.

Seit 2011 sind wir beide in Ruhestand. Günter Söder wird trotzdem versuchen, die noch ausstehenden fünf Kapitel (10%) fertig zu stellen.

Signaldarstellung, fertig gestellt 98% von 3V+2Ü:

140 Theorieseiten, 197 Grafiken, 60 Aufgaben, 11 Lernvideos, 8 IA-Module Lineare zeitinvariante Systeme, fertig gestellt 98% von 2V+1Ü:

90 Theorieseiten, 143 Grafiken, 54 Aufgaben, 6 Lernvideos, 8 IA-Module **Stochastische Signaltheorie**, fertig gestellt 95% von 3V+2Ü:

160 Theorieseiten, 230 Grafiken, 93 Aufgaben, 16 Lernvideos, 10 IA-Module **Einführung in die Informationstheorie**, fertig gestellt 50% von 2V+1Ü:

26 Theorieseiten, 35 Grafiken, 12 Aufgaben, 1 Lernvideo, 8 IA-Module **Modulationsverfahren**, fertig gestellt 95% von 3V+2Ü:

208 Theorieseiten, 287 Grafiken, 89 Aufgaben, 14 Lernvideos, 17 IA-Module **Digitalsignalübertragung**, fertig gestellt 95% von 3V+2Ü:

220 Theorieseiten, 299 Grafiken, 90 Aufgaben, 18 Lernvideos, 24 IA-Module **Mobile Kommunikation**, fertig gestellt 90% von 2V+1Ü:

118 Theorieseiten, 136 Grafiken, 41 Aufgaben, 4 Lernvideos, 17 IA-Module **Einführung in die Kanalcodierung**, fertig gestellt 30% von 2V+1Ü:

56 Theorieseiten, 75 Grafiken, 25 Aufgaben, 1 Lernvideo, 6 IA-Module **Beispiele von Nachrichtensystemen**, fertig gestellt 98% von 2V+2Ü:

193 Theorieseiten, 212 Grafiken, 38 Aufgaben, 1 Lernvideo, 14 IA-Module

gesamtes LNTwww, fertig gestellt 90% von 23V+13Ü (Angaben gerundet): 1200 Theorieseiten, 1500 Grafiken, 500 Aufgaben, 30 Videos, 60 IA-Module

 $Zwischenst and \ unseres \ Lerntutorials \ www.LNTwww.de \ zum \ 30.09.2012.$

12.5 Feste -Feiern



Bei der Führung durch Schloss Egg: S. Dierks, J. Brauchle, K. Eichin, M. Heindlmaier, N. Rossmann, N. Hanik, Z. Wen, G. Kramer, S. Knogl u.a.





Doktorhut "Breyer" mit außergewöhnlich viel Hardware (li.) und Doktorhut "Zeitler" mit 3D-Quantizer-Funktion und Sport, Sport (re.).



Die Organisatoren der LNT-Weihnachtsfeier 2010; von links Jie Hou, Michael Heindlmaier, Tobias Lutz und Danail Traskov.



14.10.2010: Weiterbildungsausflug Geodäsie-Observatorium Wettzell

- Einführungsvortrag Geodäsie
- Besuch der Forschungs- und Messstation zur Erdvermessung
- Mittagessen im Landgasthof Miethaner Hof in Viechtach
- Führung durch Schloss Egg: (Bayerns höchster Schlossturm, tiefstes Verlies, siehe Foto)

Organisation: J. Brauchle, K. Giger, M. Thakur

13.12.2010 – NT-Praktikum: LNT-Weihnachtsfeier 2010

- Preise und Ehrungen
- Akad. Stammbaum G. Kramer
- Ouiz à la Wer wird Millionär?
- Fassbier von Nomor

Organisation: M. Heindlmaier, J. Hou, T. Lutz, D. Traskov (Pseudonym: Ja, die drei Lustigen Heiligen, unterstützt von D. Traskov

– "Christmas Consulting Group")

24.06.2011 – NT-Praktikum: **Ausstandsfeier Eichin – Söder** (siehe Kapitel 9.4)

- Reden und Gegenrede
- Spanferkel, Wein und Bier
 Organisation: Klaus & Monika
 Eichin, Günter & Karin Söder

22.07.2011 – NT-Praktikum: **Geburtstagsfeier J. Hagenauer** (siehe Kapitel 9.5)

- Fränkische Schmankerln
- Erich Lutz Trio

Organisation: Joachim & Johanna Hagenauer

17.11.2011 – Gebäude N4, 4. Flur: **Einstandsfeier LTI – LNT – NAV**

- Chili con carne "LTI"
- Stefanos Pizza "LNT"

Organisation: LTI-Mitarbeiter,

H. Bartz, R. Böhnke, S. Dierks, G. Giorgi, S. Rini, M. Stinner

12 Sonstiges

28.11.2011: Exkursion nach Ingolstadt und Nürnberg

- Führung durch das Audi-Werk
- Mittagessen in Ingolstadt
- Museum für Kommunikation: Claude E. Shannon-Ausstellung
- Christkindlesmarkt Nürnberg
 Organisation: M. Heindlmaier,
 J. Hou, T. Lutz

19.12.2011 – NT-Praktikum: LNT/NAV-Winterfest 2011

(siehe Fotos oben und unten)

- Etwas andere Weihnachtsfeier:
 Luftballons statt Tannengrün,
 chinesisches Essen statt Schwein,
 auch Wintercocktails
- Jahresrückblick 2011
- Wie gut kennt Ihr Weihnachten?
 Organisation: B. Inan, O. İşcan,
 J. S. Knogl, Z. Wen

13.06.2012 – NT-Praktikum: **Einstandsfeier der Neuen 2012**

- Grill- und andere Spezialitäten
- $-\,$ EM-Spiele POR $-\,$ DEN, D $-\,$ NL $Organisation:\,$ G. Böcherer,

Y. Chen, T. Fehenberger, C. Zhu

02.08.2012 – Dachterrasse: **Grillfest nach der EM**

- Umsetzung der Gewinne des LNT-EM-Tippspiels
- Anerkennung der Sieger: Giger vor Bartz und Fehenberger
- Abbruch nach Wolkenbruch
 Organisation: Die "Loser" Söder,
 Rossetto, Heindlmaier

10.10.2012: Exkursion zur Erdfunkstelle Raisting

- Führung durch Radom Raisting
 Q. Funke, M. Hani, J.S. Knogl
- Rückkehr nach München via Dießen und Herrsching mit Bahn, Ammersee-Schifffahrt, S-Bahn

Organisation: B. Inan, O. İşcan, J. S. Knogl, Z. Wen



Das Winterfest 2011 – Weihnachten als türkisch-chinesisch-bayerische Variante; Onurcan İşcan, Zhibo Wen, Beril Inan, J. Sebastian Knogl.

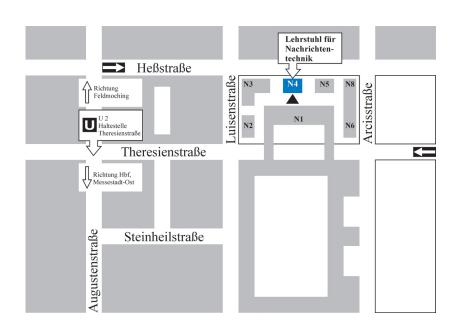




Doktorhut "Göbel" zeigt einen vorbildlich aufgeräumten Desktop (li.), Doktorhut "Coelho" verdeutlicht die von ihm angewandte *Saddlepoint Integration Method* (re.).



Stimmungsbild vom Winterfest 2011: Vorne erkennt man die früheren LNT-Verwaltungsleiter Dr. Dieter Heidner und Gottfried Binkert.





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