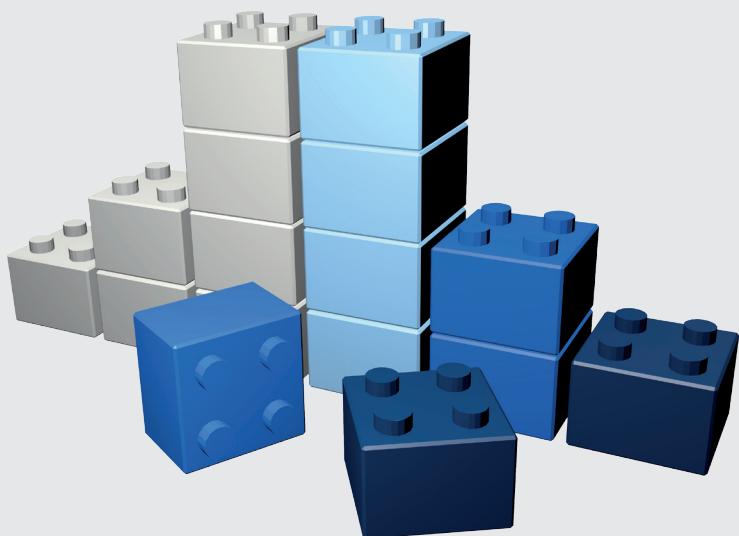


Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Kramer

Tätigkeitsbericht

1.10.2014–30.9.2016



Technische Universität München

In 1948, Claude Shannon published „A Mathematical Theory of Communication“ which laid the theoretical foundation of reliable communications. Almost seventy years later, engineers are still working to implement his blueprint.

The lego blocks on the cover illustrate the key idea of a recent invention at the LNT: Shannon’s channel coding converse dictates that every symbol of a capacity-achieving code must have the capacity-achieving distribution. For many practical channels (cable, wireless, optical) a fairly accurate model is the additive white Gaussian noise channel where the transmitted symbols are corrupted by Gaussian noise. Shannon showed that the capacity-achieving distribution for this class of channels is Gaussian, i.e., the transmitted symbols should be chosen with a Gaussian distribution. Generating such a distribution is called „shaping“, and a new scheme called probabilistic amplitude shaping (PAS) for amplitude-shift-keying (ASK) works as follows.

The amplitude and the sign of the capacity-achieving distributions for bipolar ASK are independent and the sign is uniformly distributed. PAS maps data bits to shaped amplitude sequences, which are then encoded by a systematic encoder of a linear forward error control (FEC) code. The check bits are used as sign bits. The problem of indexing shaped code words is thus solved by a layered architecture.

The shaped amplitude sequences can be generated by, e.g., a constant composition distribution matcher (CCDM) that puts out sequences that all have the same empirical distribution. The entropy of this distribution can be adjusted as shown on the cover page: the number of symbols with a given amplitude can be assembled and modified by putting the right number of “lego blocks” in the right place. We can thereby adjust the transmission rate which is the product of the FEC code rate and the CCDM rate. For a fixed FEC code, the PAS rate is adapted by changing the CCDM rate.

For more information about PAS, please see p. 8. The illustration on the cover is by Patrick Schulte.

Herausgeber:

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

Redaktion:

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

Satz:

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

Belichtung und Druck:

Offsetdruck Schwarz GmbH
Rohrauerstraße 70, 81477 München
Tel.: (+49) 89 78 09 56 0 Email: info@offsetdruck-schwarz.de

Auflage: 800 Stück

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



In h a l t

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	Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte	6
2.7	Ehrungen und Preise	7
2.8	Die neue Professorin am LNT stellt sich vor	12
3	Lehrveranstaltungen	15
3.1	Einige allgemeine Bemerkungen	15
3.2	LNT-Lehrveranstaltungen für BSEI	16
3.3	LNT-Lehrveranstaltungen für MSEI und MSCE	16
3.4	LÜT-Lehrveranstaltungen für MSEI und MSCE	20
3.5	Studiengang Lehramt an Beruflichen Schulen (LB)	21
3.6	Lehrveranstaltungen außerhalb der TUM	22
3.7	Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme	25
3.8	Seminar on Topics in Communications Engineering	27
4	Master's Theses, Bachelor's Theses	29
4.1	Einige allgemeine Bemerkungen	29
4.2	Master's Theses (MSEI, MSCE)	30
4.3	Bachelor's Theses	32
4.4	Forschungspraxis & MSCE Internships	33
4.5	Ingenieurspraxis	34
5	Promotionen	37
5.1	Abgeschlossene Promotionsverfahren	37
5.2	Curricula Vitae unserer Doktoranden	44
5.3	Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung	46
5.4	Vorträge im Doktorandenseminar	48
5.5	Doktorhutgalerie	52
6	Arbeitsgebiete	53

Inhalt

7	Extern geförderte Projekte	77
7.1	Vorbemerkungen	77
7.2	DLR@Uni – Munich Aerospace (LNT)	78
7.3	LNT-Projekt mit Nokia (M. Staudacher et al.)	78
7.4	LNT-DFG-Projekt (L. Palzer et. al)	79
7.5	LNT-DFG-Projekt (O. Günlü et. al)	79
7.6	AvH-Förderung R. Timo	80
7.7	AvH-Förderung Y. Wu	81
7.8	LNT-Projekt mit Huawei (P. Yuan et al.)	82
7.9	LÜT-Projekt mit Coriant (G. Khanna et al.)	82
7.10	LÜT-BMBF-Projekt (G. Khanna et al.)	83
7.11	LÜT-Projekt mit Siemens (T. Kernetzky et al.)	83
7.12	LÜT-Projekt mit Cisco (T. Fehenerberger et al.)	84
8	Veröffentlichungen, Patente, Vorträge	85
8.1	Überblick aller Publikationen	85
8.2	Buchbeiträge und Dissertationen	85
8.3	Zeitschriftenaufsätze	86
8.4	Konferenzbeiträge	87
8.5	Poster	93
8.6	Patente	96
8.7	Vorträge	96
9	Veranstaltungen	101
9.1	ITG-Fachgruppensitzung, LNT/TUM, Okt. 2014	101
9.2	Workshop MIO 2014, LNT/TUM, Dez. 2014	102
9.3	Geburtstagskolloquium für Professor Hans Marko (90), LNT/TUM, Feb. 2015	104
9.4	17 th JCCC, Stilfs/Italien, März 2015	108
9.5	Workshop MCM 2015, LNT/TUM, Juli 2015	111
9.6	Workshop MMM 2015, LNT/TUM, Okt. 2015	112
9.7	Workshop MIO 2015, LNT/TUM, Dez. 2015	113
9.8	TUM/COM-Workshop on 5G, Stilfs/Italien, März 2016	115
9.9	Zum 100. Geburtstag von Claude E. Shannon, Paderborn, Mai 2016	116
9.10	Workshop Communications & Coding, Bertinoro/Italien, Mai 2016	117
9.11	Workshop MCI 2016, LNT/TUM, Mai 2016	118
9.12	LNT & DLR Workshop on Coding, LNT/TUM, Juli 2016	119
10	Internationale Beziehungen	121
10.1	Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern	121
10.2	Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler	126
10.3	Vorträge von Gästen	130
11	Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation	133
12	Sonstiges	141
12.1	Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung	141
12.2	Tätigkeit in Gremien/wissenschaftlichen Vereinigungen	142
12.3	Neuerungen in der Infrastruktur	143
12.4	LNTwww beim Übergang von Version 2 zu Version 3	143
12.5	NOMOR – die nächste Generation ist am Wachsen	145
12.6	Betriebsausflüge und Betriebsfeiern	146
12.7	Persönliches	147

1

Vorwort

Liebe Freunde, Partner und Mitarbeiter des
Lehrstuhls für Nachrichtentechnik,

der "Tätigkeitsbericht 2014-2016" des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) ist druckfrisch. Ich hoffe, dass Ihnen das Durchblättern des Heftes Freude bereitet. Er bietet einen sehr guten Überblick über unsere jüngsten Tätigkeiten. Ich möchte Professor Günter Söder danken, der einmal mehr einen sehr schönen Bericht zusammengestellt hat.

Ich beginne mit zwei runden Geburtstagen. Im Februar 2015 feierte der frühere Lehrstuhlinhaber Professor Hans Marko seinen 90. Geburtstag und viele seiner Freunde, Kollegen und Doktoranden nahmen am Festkolloquium über das Berufsleben von Hans Marko teil. Professor Joachim Hagenauer vollendete im Juli 2016 sein 75. Lebensjahr; zu seiner Feier am LNT kamen auch einige ehemalige Mitarbeiter, die ihn schon länger als 25 Jahre kennen.

Leider muss ich auch einen Trauerfall vermelden. Im Februar 2016 verstarb Professor Horst Mittelstaedt, ehemals am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen und einer der ersten interdisziplinären Partner des LNT sowie Honorarprofessor von 1977 bis 2004.

Wie an Universitäten üblich, gab es auch am LNT wieder einige personelle Veränderungen. Mehrere Mitarbeiter fanden als frische „Dr.-Ing.“ interessante Aufgaben außerhalb der TUM, aber alle in München. Ende 2015 hat Joschi Brauchle als letzter der von Ralf Kötter eingestellten Doktoranden promoviert.

Daneben hat Ende 2014 der Systemadministraor Manfred Danzer den LNT verlassen. Für ihn kam im Februar 2015 Robert Schetterer, der inzwischen den LNT-Rechnerpool neu organisiert und die gesamte Infrastruktur modernisiert hat. Wir sind sehr froh, dass er am LNT ist, auch deshalb, weil Martin Kontny 2017 in Ruhestand gehen wird. Nach langjähriger famoser Arbeit wird das ein großer Verlust für alle am LNT.

Die Fakultät EI hat zum Oktober 2016 die neue Tenure Track Professorin Antonia Wachter-Zeh berufen und ihre Professur *Codierung für Kommunikation und Datenspeicherung* (COD) verwaltungstechnisch in den LNT eingegliedert. Sie war vorher mehrere Jahre am Technion in Israel und hat als Emmy-Noether-Stipendiatin der DFG sowie der Aufnahme in das Rudolf-Mößbauer-Programm des *TUM Institute for Advanced Study* an der TUM hervorragende Startbedingungen. Wir wünschen ihr viel Freude und Erfolg in Forschung und Lehre!

Das Jahr 2015 brachte viele nette Überraschungen mit sich. Mehrere Doktoranden und Postdocs erhielten renommierte Preise: Humboldt- und Schrödinger-Stipendien, einen hochdotierten Preis von Nokia Bell Labs, Dozentenpreise von unseren Studierenden sowie Auszeichnungen für Masterarbeiten und Projekte.

Auch 2015/2016 hatten wir wieder viele Besucher, manche länger als ein Jahr wie Professor Negar Ki-

yavash und Professor Fady El-Nahal, die beide mit einem *Humboldt Fellowship for Experienced Researchers* ausgezeichnet wurden. Andere Gäste kamen nur für wenige Tage zu Vorträgen und Diskussionen, innerhalb oder außerhalb von Workshops.

In den beiden letzten Jahren organisierten wir sehr viele solcher Veranstaltungen. Insbesondere erwähnen möchte ich hier zwei *Munich Workshops on Information Theory of Optical Fiber* (MIO) mit zuerst 30, dann 100 Teilnehmern, und einen *Munich Workshop on Coding and Modulation* (MCM) mit 70 Gästen.

Ein weiteres wichtiges Ereignis war die vom LNT mitorganisierte *Claude Shannon 100th Birthday Celebration* im Mai 2016 in Paderborn, das 70 Mitglieder der europäischen *Information Theory Community* für zwei Tage zu Vorträgen und Erinnerungen zusammenbrachte. Auch 30 Bachelor- und Masterstudenten der TUM lernten hier Shannon genauer kennen.

Zum Abschluss danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unserer Lehr- und Forschungseinheit (COD, LNT, LÜT, NAV) für ihre Unterstützung, die harte Arbeit und das Engagement für unsere Institution.

München, November 2016



(Prof. Gerhard Kramer)

1 Vorwort

Dear Associates and Friends of the LNT,

Another two years have passed and the biannual LNT “Tätigkeitsbericht” is hot off the press. I hope that you will enjoy browsing the booklet, it provides an excellent overview of our recent activities. I would like to thank Günter Söder for once again creating a superb Bericht.

I will begin by highlighting two birthdays. First, our former head Hans Marko had his 90th birthday in February 2015, and many friends, colleagues and former students attended a workshop celebrating his life and work. Next, Joachim Hagenauer celebrated his 75th birthday in July 2016 with the current members of the LNT, including staff members who have known him for over 25 years.

Unfortunately, in February 2016 Horst Mittelstaedt passed away. Professor Mittelstaedt worked at the Max Planck Institute for Behavioral Physiology in Seewiesen, he was one of the first interdisciplinary partners of the LNT, and an honorary professor at TUM from 1977-2004.

As usual, there were several personnel changes at the LNT. Perhaps the most important were that several new Dr. Ing. completed their dissertations and found good jobs. Interestingly, every new Doktor decided to stay in Munich. And by the end of 2015 the LNT reached a milestone: all of Ralf Kötter’s doctoral hires had graduated.

A major recent development at the LNT and the TUM Department of Electrical and Computer Engineering, as we are now called, is that

we gained a new Tenure Track Assistant Professor. Antonia Wachter-Zeh joined us from the Technion in Israel in October 2016 and began her Professorship for Coding for Communications and Data Storage (COD). She certainly had a fantastic start, winning both DFG Emmy Noether funding and a TUM Institute for Advanced Study Rudolf Mößbauer position. We wish her much joy and success in research and teaching!



One important departure in late 2014 was Manfred Danzer, and this led to hiring Robert Schetterer in early 2015. Robert has been re-organizing our computer services and modernizing our infrastructure. We are very happy to have him at the chair! An upcoming departure in 2017 will be Martin Kontny who will retire after many years of service. This will be a great loss for us.

The year 2015 had many nice surprises. Several postdocs and doctoral candidates received prestigious awards, including Humboldt and Schrödinger Fellowships, a Nokia Bell Labs Prize, teaching awards from the TUM ECE Student Association, and thesis and project awards. We had many visitors, including Fady El-Nahal and Negar Kiyavash who were awarded Humboldt Fellowships for Experienced Researchers.

The last two years were especially busy with events and workshops,

perhaps most prominently two Munich Workshops on Information Theory of Optical Fiber (MIO) that grew from 30 to 100 attendees, and a Munich Workshop on Coding and Modulation (MCM) with 70 guests. A fourth major event was a Claude Shannon 100th Birthday Celebration in May 2016. This event brought together 70 members of the European Information Theory Community for two days of talks and reminiscences. About 30 TUM bachelor and master students attended to learn about Shannon.

The year 2015 was my final year on the IEEE Information Theory Society Board of Governors. There are two accomplishments that I wish to highlight. First, the Society now has an award that recognizes young faculty and teaching, the James L. Massey Research & Teaching Award for Young Scholars. Second, the Society expanded internationally: two new Schools of Information Theory were founded in Australia and East Asia (Hong Kong), and an existing School in India is now part of the School program. The other two Schools continue to thrive. The next two European Schools are planned for Madrid, Spain, and Bertinoro, Italy. In North America, the 10th School will take place at Georgia Tech in Atlanta in 2017. This event represents a personal milestone: I co-organized the first three North American Schools at Penn State, Northwestern, and USC in 2008-2010. At the time, I did not expect the concept to work as well as it did.

Finally, and as always, I would like to thank all members of our research and teaching unit (COD, LNT, LÜT, and NAV) for their support and hard work, and for their and your dedication to this institution.

München, November 2016

A handwritten signature in black ink, appearing to read "G. Kramer".

(Gerhard Kramer)

2 Personelles

2.1 Wissenschaftliches Personal am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT)

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

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

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

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

Dr. **Vladimir Sidorenko**, Senior Researcher (seit 01.01.2015)

Dr. **Shirin Saaedi Bidokhti**, Postdoc

Dr. techn. **Bernhard Geiger**, Postdoc (seit 01.11.2014)

Dr. **Youlong Wu**, Postdoc (seit 01.01.2015)

M.Sc. **Amir Ahmadian Tehrani**, Doktorand bei Nokia (seit 01.09.2015)

M.Sc. **Rana Ali Amjad**, wiss. Angestellter

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

Dipl.-Ing. **Stefan Dierks**, Akademischer Rat. a.Z.

M.Sc. **Felix Engelmann**, Doktorand bei EURECOM (seit 01.09.2016)

M.Sc. **Onur Günlü**, wiss. Angestellter

M.Sc. **Thomas Jerkovits**, Doktorand bei DLR (seit 01.09.2016)

M.Sc. **Andrei Nedelcu**, Akademischer Rat. a.Z.

M.Sc. **Lars Palzer**, wiss. Angestellter

M.Sc. **Marcin Pikus**, Doktorand bei Huawei (seit 01.09.2015)

M.Sc. **Tobias Prinz**, wiss. Angestellter (seit 01.07.2016)

M.Sc. **Patrick Schulte**, wiss. Angestellter (seit 15.11.2014)

M.Sc. **Markus Staudacher**, wiss. Angestellter (seit 01.10.2014)

M.Sc. **Fabian Steiner**, wiss. Angestellter (seit 01.09.2016)

Dr.-Ing. **Markus Stinner**, Akademischer Rat. a.Z.

M.Sc. **Peihong Yuan**, wiss. Angestellter (seit 01.11.2015)

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr. **Luca Barletta**, Postdoc (zum 15.12.2015)

Dr. **Roy Timo**, Postdoc (zum 05.05.2016)

Dr. **Mansoor Yousefi**, Postdoc (zum 31.01.2016)

Dr.-Ing. **Joschi Brauchle**, Akademischer Rat. a.Z. (zum 30.09.2015)

Dr.-Ing. **Marwa El Hefnawy**, Doktorandin bei DoCoMo (zum 30.09.2015)

Dr.-Ing. **Michael Heindlmaier**, Akademischer Rat. a.Z. (zum 28.02.2015)

Dr.-Ing. **Onurcan İşcan**, wiss. Angestellter (zum 31.03.2015)

Zur Wahrung der Listenform ist hier der akademische Grad „Ph.D.“ (Doctor of Philosophy) durch den äquivalenten Titel „Dr.“ ersetzt. „Master of Science“ wird einheitlich mit „M.Sc.“ abgekürzt und ebenfalls vor dem Namen gesetzt.

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 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

2.7 Ehrungen und Preise

2.8 New Tenure-Track Professor Antonia Wachter-Zeh

Die Zusammenstellung bezieht sich auf den Stichtag 30.09.2016. Auf den beiden nächsten Seiten folgen die Biografien der zehn im Berichtszeitraum neu hinzu gekommenen Kollegen am LNT und des neuen Kollegen bei LÜT, die vor dem 01.08.2016 begonnen haben

Gastwissenschaftler sind in dieser Liste nicht berücksichtigt. Sie finden deren Biografien und den Zeitraum des jeweiligen Gastaufenthaltes am LNT im Kapitel 10.2.

Hier finden Sie Kurzbiografien der elf neuen Kollegen zu Fragen wie: Woher kommen sie? Was machen sie am LNT/LÜT und in der Freizeit?

Robert Schetterer was born 1966 in Munich. Since 1995 he worked as an



electrician and technician for various organizations, e.g., Munich Laser Systems and Zettler. During this time he modernized the electricity system of our building N4 at TUM. In 2000, he joined Razorfish Munich as lead sysadmin, then he worked as IT/Mail/Server admin for Media Professionals Munich, Infinion, and other companies.

Robert Schetterer is co-founder of the mail and security company SYS4 AG and writes technical blogs. Before he started as sysadmin at LNT in 2015, he gathered ten years of experience in standalone business, mostly as mail admin for LINUX systems with open source software like apache, mysql, dovecot, postfix and spamassassin.

Robert is married and has two children. His private interests are astronomy, physics, paleontology, archaeology, science fiction movies and literature.

Amir Ahmadian Tehrani, M.Sc., was born in Tehran, Iran. He received



his master's degree in Communications Engineering at Tampere University of Technology (TUT), Tampere, Finland, with distinction in 2015.

To complete his master's degree he joined the W.I.N.T.E.R group under the supervision of Prof. Koucher-

Our new colleagues at LNT

yavy at TUT as a Research Assistant in 2014. His master's thesis was on *Modeling Contention-based Behavior of Machine-to-Machine (M2M) devices over LTE Cellular Networks*.

Since August 2015, Amir has been working towards his Dr. Ing. at LNT under the supervision of Prof. Kramer. His current research interests are mainly concentrated on Massive MIMO (mMIMO) systems design and implementation for future 5G networks, see p. 60. The research is done in co-operation with Nokia Bell Labs, Munich.

Hiking in the Alps, playing football with friends as well as watching movies are Amir's main priorities to spend his free time.

Dr. Bernhard C. Geiger was born in Graz, Austria, in 1984. He received



the Dipl.-Ing. degree in Electrical Engineering (with distinction) and the Dr.techn. degree in Electrical and Information Engineering (with distinction) from Graz University of Technology, Austria, in 2009 and 2014, respectively. In 2014 he received the Award of Excellence of the Austrian Federal Ministry of Science, Research and Economy.

In 2009 he joined the Signal Processing and Speech Communication Laboratory, Graz University of Technology, as a project assistant and took a position as a research and teaching associate at the same lab in 2010. He joined the LNT as a post-doctoral researcher in November 2014. His research interests cover information theory for signal processing, information-theoretic model reduction for Markov chains and hidden Markov models, and information-theoretic clustering, see p. 56. Since 2015 Dr. Geiger is responsible for the Bachelor/Master Seminar, and since summer 2016 Dr. Geiger teaches the lecture *Information-theoretic System Analysis and Design*.

In his leisure time (and during work) Bernhard enjoys the challenging game of Go.

Tasnád Kernetzky, M.Sc., was born in Marosvsrhely (nowadays Trgu Mure, Romania) in 1987. He received his master's degree in



Electrical and Computer Engineering at the Technical University of Munich in 2014. In his thesis, he focused on Powerline Communication (PLC) systems and their transmission properties.

Since December 2014, Tasnád is deepening his knowledge on PLC as a doctoral candidate at the Department for Wireline Transmission Technology (LUT) with Prof. Hanik and in collaboration with SIEMENS AG. His focus lies on optimizing PLC technology in industrial applications, see p. 74.

In the winter terms Tasnád is responsible for the tutorial to the lecture *Grundlagen der Informationstechnik (LB)* from Prof. Hanik, and in summer 2015 and 2016 he organized the *Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme*.

Tasnád's hobbies are playing bass guitar, snowboarding, bouldering and programming.

Marcin Pikus, M.Sc., was born in Kielce, Poland, in 1989. He received



his M.Sc. degree in Communication Engineering in 2014 at Technical University of Munich (TUM). The title of his master's thesis under the supervision of Dr. Bocherer was *Communication over Rayleigh Block Fading Channels*.

Since February 2015, Marcin is with Huawei Technologies Düsseldorf GmbH and the Institute for Communications Engineering (LNT) as an external Dr. Ing. candidate under the supervision of Prof. Kramer. His current research areas involve non-coherent communication, modulation and coding for 5G, see p. 67.

Apart from professional life Marcin is a keen mountain biker, skydiver and he loves dogs.

Tobias Prinz, M.Sc., was born in Kempten, Germany, in 1989. He received the B.Sc. and M.Sc degree in Electrical Engineering at Technical University of Munich (TUM) in 2013 and 2016, respectively. His master's thesis under the supervision of Dr. Böcherer was on *Polar Codes for Higher-order Modulation and Probabilistic Amplitude Shaping*.

In July 2016, he joined the LNT as a research assistant of Prof. Gerhard Kramer. His research interests are in the field of coding theory, with emphasis on polar codes and coded modulation, see p. 68.

In his leisure time Tobias plays clarinet in the Munich International Orchestra.

Dr. Vladimir Sidorenko was born in Krasnoyarsk, Russia, in July 1949.

He received the M.S. degree in Electrical Engineering in 1972 and the Ph.D. degree in Mathematics in 1975, both from the Moscow Institute for Physics and Technology. From 1975 to 1983 he was with Computer center of 4th Department of Russian Health Ministry, first as a Senior Engineer and then as the Vice Director of the Computer center.

In 1983 Dr. Sidorenko joined the Institute for Information Transmission Problems (IITP), Russian Academy of Sciences, Moscow, as a Senior Research Fellow. From 2003 till 2014 he was a Senior Researcher of the Institute of Communications Engineering, Ulm University, where he received *In centi award* for the best lecturing. From January 2015 he is a senior researcher at LNT, on leave from IITP. As invited researcher he worked at the University of Lund, Sweden, the Technical University of Darmstadt, Germany, the University of Lancaster, UK, and the University of Aveiro, Portugal.

His research interests include coding theory, telecommunications, signal processing, cryptology, and applications. He has published more than

140 research papers in these fields. At LNT he is working with Dr. Ing students and supervising master's thesis students performing research in coding theory, see p. 58 and p. 62.

Patrick Schulte, M.Sc., was born in Dachau in 1990. He received his M.Sc. degree in Electrical Engineering in 2014 at Technical University of Munich (TUM). His master's thesis at LNT under the supervision of Dr. Böcherer investigated *Methods for Fixed Length Distribution Matching*.

Since November 2014, he works as a research assistant at LNT. His current research interests are iterative channel coding and probabilistic shaping, see p. 69. Patrick is the teaching assistant for the course *Nachrichtentechnik I* for bachelor students.

From July to September 2016 he was a summer intern at Bell Labs in Crawford hill. His task was to find upper bounds on the capacity and spectral efficiency for optical fiber transmission systems.

Patrick is a passionate table tennis player.

Markus Staudacher, M.Sc., was born in Munich, Germany, in 1987.

He received his M.Sc. degree in Electrical Engineering in 2015 at Technical University of Munich. His master's thesis (under his previous name Markus Jäger) was developed with a focus on distributed power control for nomadic relay networks at BMW, Munich.

Since October 2014, he works as a Research Assistant at LNT under the supervision of Prof. Kramer. The current research area is focusing on the implementation of massive MIMO for future mobile radio systems together with Nokia Bell Labs, in Munich, see p. 70.

Since October 2014 Markus is organizing the *Communications Laboratory* and since April 2015 he is a teaching assistant for the lecture *Mobile Communications*.

Youlong Wu, Ph.D., was born in Hubei, China, in 1986. He obtained his B.S. degree in Electrical Engineering from Wuhan University, Wuhan, China, in 2007. He received the M.S. degree in Electrical Engineering from Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, in 2011. In 2014, he received the Ph.D. degree at Telecom ParisTech, in Paris, France.

The title of his Ph.D. thesis was *New Ways of Exploiting Feedback in Memoryless Broadcast Channels*. Prof. Kramer was "rapporteur" of Youlong's doctorate procedure.

Since December 2014, Dr. Wu has been a postdoc at LNT. His research interests include information theory and wireless communication, see p. 59. In summer 2016 Dr. Wu was one of the lecturers for *Multi-user Information Theory*.

Youlong likes playing ping pong and tennis.

Peihong Yuan, M.Sc., was born in Shanghai, China, in 1988. He received his M.Sc. degree in Electrical Engineering and Information Technology from Technische Universität München (TUM), Germany in 2015. During his master's thesis he worked on rate-matched coded modulation in wireless communication.

In November 2015 he joined the LNT as a research assistant of Prof. Kramer. His current research area is polar coding and polar coded modulation, see p. 71.

In his free time Peihong is often playing basketball and he is a freak for Rubik's Cube.

2.2 Wissenschaftliches Personal der Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT)

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

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

M.Sc. **Tasnd Kernetzky**, Akademischer Rat. a.Z. (seit 01.12.2014)

M.Sc. **Ginni Khanna**, wiss. Angestellte

M.Sc. **Amita Shrestha**, Doktorandin bei DLR (seit 01.09.2016)

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr.-Ing. **Yingkan Chen**, wiss. Angestellter (zum 31.05.2016)

Dipl.-Inf. **Elisabeth Oberleithner**, wiss. Angestellte (zum 31.05.2016)

2.3 Mitarbeiter in den Labors

Martin Kontny, Elektromaschinenbauer, Elektroniklabor

Robert Schetterer, Systemadministrator (seit 01.02.2015)

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Manfred Danzer, Systemadministrator (zum 31.12.2014)

2.4 Mitarbeiterinnen in Büro und Verwaltung

Doris Dorn, Verwaltungsangestellte

Rita Henn-Schlune, Sekretärin

Erika Herian, Offiziantin

Nicole Roßmann, Verwaltungsangestellte

2.5 Lehrbeauftragte

Dr. **Gianluigi Liva**, DLR Oberpfaffenhofen (seit 2014)

Apl. Prof. (i.R.) Dr.-Ing. habil. **Günter Söder** (seit 2011)

Dr. -Ing. **Ingo Viering**, Nomor Research GmbH, München
(seit 2007)

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Prof. Dr. **Matthieu Bloch**, Georgia Tech, Atlanta, GA/USA (SS 2015)

Prof. Dr. **Mari Kobayashi**, Department of Telecommunications at Supélec,
Gif-sur-Yvette, France (SS 2016)

Prof. Dr. **Gernot Kubin**, TU Graz, Austria (SS 2015)

Prof. Dr. **Pierre Moulin**, UIUC, Urbana-Champaign, IL/USA (SS 2016)

Prof. Dr. **Andrew C. Singer**, UIUC, Urbana-Champaign, IL/USA (SS 2016)

2.6 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

Wissenschaftliche Hilfskräfte (B.Sc.-Studienabschluss vorausgesetzt):

Ankur Agarwal, Muhammad Umer Anwaar, Sushmit Bhattacharjee, Clemens Blöchl, Zhaoqi Chu, Abhijith Chikapla Danappa, Bilal Hammoud, Hussein Hammoud, Christoph Horlebein, Andreas Lang, Sadra Mostashar, Taylan Sahin, Ghassen Zafzouf, Jianwei Zhang.

Studentische Hilfskräfte (für Projekte, Praktikumsbetreuung, und Bibliothek):

Abdul Rafey Aftab, Asad Ahmed Ansari, Abid Anjum, Muhammad Umer Anwaar, Ajay Kumar Beesetti, Muhammed Efe, Timothe Felicio, David Ginthr, Albert-Constantin Iepure, Ekin Igidir, Huixian Jiang, Dhanush Krish-na, Vijay Pravin Maharajan, Ahmed Khalid Malik, Chethan Ningaraju, Sai Kireet Patri, Matthias Pfeuffer, Anna Rieke, Dhananjay Shah, Selina Xin Sia, Stefanie Wirtz, Jiawei Yan, Ahmad Zohaib.

2.7 Ehrungen und Preise

Günter Söder und Gerhard Kramer

Aufgeführt sind alle Angehörigen von LNT und LÜT, die im Berichtszeitraum für hervorragende Leistungen in Lehre, Forschung oder Verwaltung ausgezeichnet wurden. Wir gratulieren herzlich.

This chapter lists all individuals from LNT and LÜT who received awards for teaching and/or research in the period 10/2014-09/2016. Congratulations to our colleagues for their accomplishments.

Einige der Auszeichnungen für Gerhard Kramer in den Jahren 2014-2016

(1) Bavarian Academy of Sciences and Humanities

Die *Bayerische Akademie der Wissenschaften*, die größte und eine der ältesten Akademien in Deutschland, hat 2015 Gerhard Kramer aufgrund seiner wissenschaftlichen Leistungen als einen von elf Wissenschaftlern als neues Mitglied gewählt. Auch Joachim Hagenauer, LNT Chef von 1993-2006, ist Akademiemitglied.

(2) Highly Cited Researcher

Gerhard Kramer wird in den von Thomson Reuters erstellten Listen *Highly Cited Researcher* für die Jahre 2014-2016 als einer der vielzitiertesten Forscher auf dem Gebiet der Computerwissenschaften aufgeführt. Aufnahmekriterium ist, wie oft Veröffentlichungen eines Kandidaten in den letzten zehn Jahren von anderen

zitiert wurden. Genannt werden für jedes Fachgebiet die oberen 1%.

(3) IEEE ITsoc Distinguished Lecturer

Die *IEEE Information Theory Society* ernennt jährlich fünf *Distinguished Lecturer* für zwei Jahre. Gerhard wurde für 2015-2016 gewählt.

(1) Bavarian Academy of Sciences and Humanities

In 2015 Gerhard Kramer was elected to the Bavarian Academy of Sciences and Humanities as a Member of the Class for Mathematics and the Natural Sciences.

(2) Highly Cited Researcher

Gerhard Kramer was listed by Thomson Reuters as a *Highly Cited Researcher* for the years 2014-2016, as

one of the most influential researchers in Computer Science. Influence is determined by analyzing citation data to identify those who published the highest-impact work during the last ten years. Highly cited papers rank in the top 1% by citations for their subject field and year of publication. Ralf Kötter, head of the LNT from 2007-2009, is also included in the list for the years 2014-2015.

(3) IEEE ITsoc Distinguished Lecturer

The IEEE Information Theory Society *Distinguished Lecturer Program* promotes interest in information theory by supporting chapters who wish to invite prominent scientists to give talks at their events. Gerhard Kramer was elected a Distinguished Lecturer for the period 2015-2016.

G. Böcherer, P. Schulte und F. Steiner gewinnen einen der renommierten Bell Labs-Preise

Georg Böcherer, Habilitand am LNT, und die beiden Doktoranden Patrick Schulte und Fabian Steiner, die mit ihm schon seit ihrem Master-Studium zusammenarbeiten, haben Ende 2015 einen der renommierten Alcatel-Lucent Bell Labs-Preise gewonnen. Das LNT-Team um Dr. Böcherer teilt sich mit einer anderen Forschergruppe den dritten Platz in einem weltweiten Wettbewerb zur Informations- und Kommunikationstechnologie. Dieser persönliche Preis ist mit \$25,000 dotiert. Die anderen Preise gingen an je einen US-Professor der Carnegie Mellon University und der University of California, San Diego.

Die Wissenschaftler konnten zeigen, dass mit ihrer RateX-Architektur und einem „Distribution Matcher“



Von li.: F. Steiner, G. Böcherer, P. Schulte bei der Preisübergabe vor der Statue von Claude E. Shannon, dem Begründer der Informationstheorie

die Shannon-Grenze erreicht wird. Ihre Methode macht digitale Kommunikationssysteme flexibler und die Entwicklungskosten niedriger, ob drahtlos, drahtgebunden, glasfaserbasiert oder satellitengestützt. Auf der nächsten Seite erfahren Sie im Beitrag von Patrick Regan in den TUM News mehr über diese Forschungsarbeit. Wir bedanken uns beim Autor für die Erlaubnis zum Nachdruck.

Von den bis April eingereichten 250 Projekten wurden von einer Jury zwanzig ausgewählt, die ihre Arbeit im Juni bei den Bell Labs persönlich vorstellen durften. Sieben erreichten das Finale in New Jersey, drei von ihnen wurden schließlich ausgezeichnet. Herzlichen Glückwunsch!

Three young researchers from the Technical University of Munich (TUM) have won a prestigious Bell Labs Prize, tied for third place in a global competition in information and communications technology. They showed how a single type of transceiver could be used across the full range of digital communications systems, ensuring in each instance that its transmission rate will approach the theoretical limit. Their method could enhance flexibility and reduce costs in the engineering of wireless, wireline, optical fiber, and satellite systems.

Dr. Georg Böcherer is a postdoctoral researcher in the Department of Electrical and Computer Engineering at TUM; Patrick Schulte and Fabian Steiner are doctoral candidates who began working with Böcherer as master's students. The three share equally in the prize, a personal award of \$25,000 from Alcatel-Lucent Bell Labs. The other prizes awarded went to a professor at Carnegie Mellon University and a professor at the University of California, San Diego.

Seeking Business Breakthroughs through Science

The competition called for innovative proposals "that have the potential to change the way we live, work, and communicate with each other." From more than 250 ideas submitted in April, the field was narrowed to 20 teams. These were matched with Bell Labs researchers and business managers to further develop their proposals. Seven finalists presented their ideas at Bell Labs' headquarters in the U.S. The criteria on which they were judged included innovation potential, technical merit, feasibility, and business impact. One first prize was awarded; the TUM team

RateX: TUM team wins a Bell Labs Prize

Patrick Regan, TUM-IAS and TUM Corporate Communications Center

tied for third place, and no second prize was given.

"Nothing brings out the creative power of research better than competing to transform society and grow industries," says Marcus Weldon, president of Bell Labs and chief technology officer of Alcatel-Lucent. "The Bell Labs Prize celebrates the interplay of science and engineering that has flourished here for 90 years, allowing us to dream up the future and create the ideas that will build the technology necessary to get us there."

RateX – a Universal Method

Information theory determines the upper limit to how much data can be transmitted reliably over a given channel, taking into account characteristics such as the signal-to-noise ratio. Over the past few decades, engineers have developed information coding and modulation schemes that seek to optimize performance for specific types of systems, but two serious challenges remain: There's always a gap between what theory predicts and what the technology can deliver, and no approach is universally applicable. The TUM researchers claim to have overcome both of these limitations.

Their "RateX" method brings together three essential functions for the first time, in a way that offers the industry an unprecedented level of flexibility. "It's an elegant solution," says Prof. Gerhard Kramer, Chair for Communications Engineering, "creating a clean layering of signal shaping, encoding, and modulation within the physical layer of the Open Systems Interconnection model. This is a universal method that could become the de facto way of doing things in the future."

Many components used in diverse communications systems today could be replaced by a single chip implementing the RateX algorithm. Not only would such a chip be less complex and more power-efficient than today's technology, but it also could offer cost and reliability advantages

associated with economies of scale. Within ten or fifteen years there could be billions of such chips in use if, as Kramer expects, the RateX method becomes standard for 5G wireless, optical, satellite, DSL, and other communications technologies.

The key to closing the capacity gap, Georg Böcherer says, was to add one special device, a distribution matcher. "The only thing this device is doing," he explains, "is transforming bits with a uniform distribution into a sequence of symbols with non-uniform distribution. This mapping is reversible, so from the sequence of symbols we can recover the bits."

Combining the distribution matcher and a novel coding design with existing tools should push practical transmission rates to the theoretical limits – and the first experimental studies with optical fiber and wireline DSL systems appear to confirm this. The practical consequences should include higher data rates, a longer reach, and lower power consumption for all kinds of systems. Because RateX adapts easily to the actual channel, it should be as well suited for the short-range wireless links that will be a ubiquitous feature of the "Internet of Things" as for the world's long-haul fiber-optic backbones.

This research has been supported by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the framework of an Alexander von Humboldt Professorship and by the TUM Institute for Advanced Study.

Publications

- [1] Böcherer, G.; Steiner, F; Schulte, P.: Bandwidth Efficient and Rate-Matched Low-Density Parity-Check Coded Modulation. In: IEEE Trans. on Comm., vol. 63, no. 12, Dec. 2015
- [2] Schulte, P.; Böcherer, G.: Constant Composition Distribution Matching. In: IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 62, no. 1, Jan. 2015
- [3] Buchali, F. et al.: Capacity Increase and Rate-Adaptation by Probabilistically Shaped 64-QAM. In: Proc. of ECOC, Sept. 2015

Dozentenpreise 2015 für Gerhard Kramer und Tobias Fehenerberger

Beim Tag der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 30. Oktober 2015 wurde **Gerhard Kramer** mit dem Dozentenpreis in der Kategorie „Bester Dozent“ ausgezeichnet. Am gleichen Tag erhielt **Tobias Fehenerberger** (LÜT) den Preis als „Bester Assistent“ für die Betreuung der Übung zu *Leitungsgebundene Übertragungstechnik*. Wir sind stolz, dass 2015 beide Dozen-

tenpreise an unsere Lehr- und Forschungseinheit gegangen sind.

Den Dozentenpreis vergibt die Fachschaft Elektrotechnik und Informationstechnik jährlich an Professoren und wissenschaftliche Mitarbeiter. Alle Studierenden der Fakultät EI können Vorschläge einbringen. Eine Jury, die von der Studentenvollversammlung gewählt wird, trifft dann nach mehrmaligem Besuch aller vor-



geschlagenen Lehrveranstaltungen die endgültige Auswahl.



G. Kramer, T. Fehenerberger und die Studierenden-Jury



N. Rossmann und TUM-Vizepräsident Diepold am 08.12.2014

Nicole Rossmann wurde mit der Karl Max von Bauernfeind-Medaille der TUM ausgezeichnet

Der TU-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann hat **Nicole Rossmann** die Karl Max von Bauernfeind Medaille verliehen, benannt nach dem ersten Direktor der Polytechnischen Schule in München, Vorläuferin der heutigen TUM. Damit werden Persönlichkeiten geehrt, die sich durch besonderes Engagement innerhalb der Hochschule verdient gemacht haben. In der Urkunde heißt es: „... in Würdigung ihres herausragenden Engagements für das internationale Studienprogramm *Master of Science*

in Communications Engineering (MSCE) der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, wodurch die Technische Universität München einen neuen Weg zur Erschließung junger internationaler Talente beschritten hat“.

Nicole Rossmann war seit Mai 2003 als „Administrative Assistant“ für alle das MSCE betreffenden organisatorischen Fragen zuständig. Sie bearbeitete jedes Jahr mehr als 700 Bewerbungen, organisierte ein MSCE-Welcome Event und eine Gra-

duiertenfeier und hielt Kontakt zu vielen ehemaligen Absolventen, die inzwischen in Industrie und Hochschulen Karriere machen. Ihre wichtigste Aufgabe aber war die Betreuung der 50 ausgewählten Studenten (meist aus Asien) im neuen Umfeld, also: Zuhören, Beraten, Trösten und Probleme lösen.

Zum September 2016 hat Frau Rossmann ihre MSCE-Aufgaben an die Fakultät übergeben. Wir sind aber sehr froh, dass sie dem LNT erhalten bleibt.

Humboldt Fellowship für Negar Kiyavash, Fady El-Nahal, Roy Timo und Youlong Wu

Prof. **Negar Kiyavash** from the University of Illinois at Urbana-Champaign received a

Humboldt Fellowship for Experienced Researchers from the Alexander von Humboldt Foundation. The fellowship provided funding for Negar's sabbatical stay at Munich in 2015 and 2016.



Die Alexander-von-Humboldt-Stiftung, eine gemeinnützige Stiftung der Bundesrepublik Deutschland zur Förderung der internationalen Zusammenarbeit, ermöglicht ausländischen Wissenschaftlern Aufenthalte in Deutschland und unterstützt so wissenschaftliche und kulturelle Verbindungen. Prof. Kiyavash, Prof. El-Nahal, Dr. Timo und Dr. Wu profitierten 2015/2016 von dieser Förderung.

Prof. **Fady El-Nahal** from the Islamic University of Gaza, Palestine,

received a *Humboldt Fellowship for Experienced Researchers* from the Alexander von Humboldt Foundation. Since June 2014, Fady is an Alexander von Humboldt Georg Forster Research Fellow.



2

Personnelles

Dr. Roy Timo, guest scientist from Australia, received a *Humboldt Fellowship for Postdoctoral Researchers* from the Alexander von Humboldt Foundation. The fellowship provided funding for Roy's stay at TUM and LNT from May 2014 until May 2016.



Dr. Youlong Wu, guest scientist at LNT since January 2015, also received a *Humboldt Fellowship for Postdoctoral Researchers* from the Alexander von Humboldt Foundation. The fellowship provided funding for an additional year of Youlong's stay at TUM and LNT.



Award of Excellence & Erwin Schrödinger Fellowship für Bernhard C. Geiger

Dr. Bernhard C. Geiger, Postdoc am LNT seit November 2014, erhielt im Berichtszeitraum zwei Ehrungen:

(I) 2014 erhielt er einen der *Awards of Excellence* des österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwfw). Seit 2008 werden damit die besten in Österreich verfassten Dissertationen eines Studienjahrs ausgezeichnet. Für das Studienjahr 2013/2014 wurden 40 Auszeichnungen verliehen, eine davon ging an Bernhard Geiger.

(II) 2015 erhielt Bernhard Geiger das *Erwin-Schrödinger-Auslandsstipendium* des österreichischen Wissenschaftsfonds (FWF). Dieses wird jährlich an ca. 60 BewerberInnen aus allen Wissenschaftsdisziplinen vergeben und dient der Mobilitätsförderung junger und hochqualifizierter

Wissenschaftler aus Österreich. Mit diesem Stipendium finanziert Bernhard seinen Aufenthalt am LNT für 18 Monate.



Mag. Elmar Pichl (bmwfw) übergibt die Urkunde an Bernhard Geiger

Dr. Bernhard Geiger, who has been senior scientist of the LNT since November 2014, received two awards in the report period 2014-2016:

(I) Bernhard Geiger received one of the Awards of Excellence from the Austrian Federal Ministry of Science, Research and Economy. Since 2008 this award is given to the best dissertations each year, nominated by the presidents of the Austrian universities. In the academic year 2013/ 2014, the award was granted to 40 candidates, including Bernhard Geiger.

(II) In 2015 Bernhard received the Erwin Schrödinger Fellowship from the Austrian Science Fund (FWF). This fellowship is granted to approximately 60 applicants annually across all fields of research to facilitate international mobility of young and highly qualified Austrian scientists. The fellowship provides funding for 18 months of Bernhard's stay at TUM and LNT.

Fabian Steiner erhielt den Professor-Ralf-Kötter-Gedächtnispreis 2016

On April 16, 2016, the "Prof. Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis" was awarded for the seventh time in the City Hall of Kronberg/Taunus. The prize of 500 € was initiated 2009 and is endowed by Ruth and Hubert Kötter, the parents of Ralf Kötter, head of the LNT 2007-2009. The keynote speaker of the award ceremony was Prof. Wolfgang Utschick.

The 2016 awardee is Fabian Steiner who was nominated for his master's thesis on the topic "Low Density Parity Check Code Design for Bit Metric Decoding". This work provided building blocks for an innovative transceiver design that won a 2015 Bell Labs Prize (see pages 8/9).



Von links: Prof. Kramer, Ruth Kötter, Bürgermeiser Temmen, Fabian Steiner, Hubert Kötter, Prof. Utschick und Prof. Hagenauer (Foto: W. Stietzel)

Am 16. April 2016 wurde in der Kronberger Stadthalle unter der Schirmherrschaft der Stadt Kronberg zum siebten Mal der *Professor Dr. Ralf Kötter-Gedächtnispreis* verliehen. Im Kastenbeitrag finden Sie alle wichtigen Informationen über den von Ruth und Hubert Kötter 2009 ausgelobten Preis, der seit 2010 jährlich vergeben wird.

Der Preisträger 2016 ist Fabian Steiner, dessen Masterarbeit mit dem Thema *Low Density Parity Check Code Design for Bit Metric Decoding* ausgezeichnet wurde. Fabian Steiner hat seine Abschlussarbeit am LNT unter der Betreuung von Dr. Böcherer angefertigt. Die Arbeit stellt einen unverzichtbaren Baustein für das neue, äußerst effiziente Verfahren zur Informationsübertragung nahe der Shannon-Grenze dar, wofür Georg Böcherer, Patrick Schulte und er einen der renommierten Bell Labs Awards erhalten haben (siehe Seite 8/9).

Rund 80 geladene Gäste nahmen an der mit Stücken von Offenbach, Bach und Rossini musikalisch um-

rahmten Preisverleihung teil, darunter die TUM-Professoren Joachim Hagenauer, Gerhard Kramer und Wolfgang Utschick. Diese standen mit Ralf Kötter in einem sehr engen und freundschaftlichen Kontakt, teilweise schon zu der Zeit, als Ralf noch in den USA forschte.

Nach der Begrüßung durch Ruth Kötter ging Kronbergs Bürgermeister Klaus Temmen in seinem Grußwort nicht nur auf die von der Familie Kötter gegründete Stiftung ein, aus deren Vermögen der „Professor Dr. Ralf Kötter-Gedächtnispreis“ finanziert wird, sondern hob auch das Wirken des Vereins „Professor Dr. Ralf Kötter-Freundeskreis“ und dessen Bedeutung für die Stadt Kronberg hervor.

Prof. Utschick, der schon den Studenten Fabian Steiner als dessen Mentor im Rahmen der bayerischen Begabtenförderung kannte und an dessen Lehrstuhl *Methoden der Signalverarbeitung* F. Steiner nach seiner Masterarbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig war, hielt die

Laudatio. Er bezeichnete Fabian Steiner als idealen Preisträger, der binnen kurzer Zeit zwei unterschiedliche Bachelorstudiengänge an der TU München jeweils mit Bestnote abgeschlossen habe und so wörtlich „wie viele der später ganz Großen zeigt er eine ausgeprägte Unerschrockenheit vor jeder mathematischen und auch sonstigen Hürde, die sich ihm in den Weg stellen mag. Ich bin mir ganz sicher, dass Ralf Kötter seine große Freude mit ihm gehabt hätte.“

In seiner Laudatio erinnerte Prof. Utschick auch an Ralf Kötter, der „eine außergewöhnliche Persönlichkeit“ gewesen sei. „Seine Hingabe

Über den Professor Dr. Ralf Kötter Gedächtnispreis

Dieser jährlich zu vergebende Preis mit einer Dotierung von jeweils 500 € wurde 2009 vom Ehepaar Ruth und Hubert Kötter in großherziger Weise ins Leben gerufen. Die Auszeichnung erinnert an ihren Sohn, den erfolgreichen Wissenschaftler Professor Dr. Ralf Kötter, der wegweisende Forschungen auf dem Gebiet der modernen Mobilkommunikation betrieben hat, zuletzt als Leiter des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik an der TU München. Zuvor studierte er an der TU Darmstadt, promovierte 1996 an der *Linköping University* in Schweden und war danach in den USA an der *University of Illinois at Urbana-Champaign* (UIUC), zuletzt als Professor. Ralf Kötter verstarb im Februar 2009 Jahren nach schwerer Krankheit im Alter von 45 Jahren. Er leitete den Lehrstuhl nur 18 Monate.

Der Preis wird jährlich im Wechsel für innovative Forschung auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik und in den Jahren dazwischen für

außergewöhnliches Engagement in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen und für humanitäre Hilfen vergeben. Er ist zeitlich begrenzt bis 2023, dem Jahr, in dem Ralf sein 60. Lebensjahr vollendet hätte.



In den geraden Jahren werden von einem Komitee aus Professoren des LNT mehrere Kandidatinnen und Kandidaten nominiert, die für

ihre Forschungen geehrt werden sollen. Dabei werden junge Wissenschaftler bevorzugt, die herausragende Arbeiten am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) oder der Professur Leitungsbundene Übertragungstechnik (LÜT) verfasst haben. Die endgültige Auswahl treffen Ruth und Hubert Kötter. Steiners Vorgänger in dieser Kategorie waren Johannes Lenz (LNT, 2010), Hannes Bartz (LNT, 2012) und Tobias Fehnberger (LÜT, 2014). In den Zwischenjahren gingen die Preise für soziales Engagement an Pfarrer Olaf Lindemann (2011), Dr. Thomas Kauffels, Direktor des Opel-Zoos Kronberg (2013) und die Ökumenische Diakoniestation Kronberg (2015).

Die feierliche Preisübergabe findet jährlich im Stadtsaal unter der Schirmherrschaft der Stadt Kronberg im Taunus statt, dem Ort, in dem Ralf aufgewachsen ist und wo er auch seine letzte Ruhestätte auf dem Friedhof Thalerfeld gefunden hat.

an seine Forschungsarbeit und nicht weniger an die Menschen, mit denen er zu tun hatte, haben mich tief geprägt und werden mir immer in Erinnerung bleiben“, so der Laudator.

In seiner Dankesrede erinnerte sich Fabian Steiner an das erste und leider letzte Mal, an dem er Prof. Kötter kennenlernen konnte, als er im Rahmen einer Schnupperstunde für Schüler an der TU München eine Vorlesung zu Nachrichtentechnik 1 besuchte. Obwohl es ihm zur damaligen Zeit nicht leicht fiel, dem Inhalt und den Erklärungen zu folgen, war

diese Erfahrung einer der Gründe, ein Studium der Elektrotechnik zu beginnen und sich insbesondere im Bereich der Signalverarbeitung und Kommunikation zu spezialisieren. Steiner dankte seinen Kollegen Dr. Böcherer und Patrick Schulte für die hervorragende Zusammenarbeit, die unter anderem zu diesem Preis geführt hat.

Die Preisverleihung wurde mit einem Imbiss und der intensiv genutzten Gelegenheit zu Gesprächen beendet. Viele Gäste besuchten Ralfs Grab und machten einen Rundgang durch die Kronberger Altstadt.

2.8 Die neue Professorin am LNT stellt sich vor

Antonia Wachter-Zeh

Das kleine Welcome-Event, welches an meinem ersten offiziellen Tag stattfand, liegt überraschenderweise gerade erst zwei Wochen zurück. In diesen zwei Wochen hat sich sehr viel ereignet: ich habe die Mitarbeiter am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik kennen und schätzen gelernt, meine erste Vorlesung an der TUM gehalten und mich mit der ein oder anderen organisatorischen Fragestellung auseinandergesetzt. Des Weiteren bin ich nun ausgesprochener Fan von Siebträgermaschinen-basiertem Kaffee.

Ich freue mich sehr, die Stelle als *Rudolf Mößbauer Tenure Track Assistant Professor* erhalten zu haben. Die Einbettung meiner Gruppe „Coding for Communications and Data Storage“ in den LNT und die Hilfsbereitschaft aller Mitarbeiter war und ist eine große Hilfe, um meine Gruppe aufzubauen. Diese Gruppe wird nun bald wachsen: Ende dieses Jahres wird Andreas Lenz als Doktorand anfangen und sich mit Codes zur Korrektur von *Insertions* und *Deletions* beschäftigen. Im März wird Lukas Holzbaur als zweiter Doktorand beginnen. Er fertigt momentan seine Masterarbeit am LNT an, betreut von Hannes Bartz und mir.

Es ist sehr schön für mich und meine Familie (mein Mann Alexander und unsere 2-jährige Tochter Amira), in München zu leben. Gar nicht weit von hier (in Traunstein) habe ich Abi-

tur gemacht und kenne somit das Münchner Umland recht gut. Nach meinem Abitur habe ich zunächst ein duales Studium in Elektrotechnik an der DHBW Ravensburg gemacht. Da mir die theoretischen Inhalte dieses dualen Studiums nicht tief genug gingen, habe ich daran ein Masterstudium an der Universität Ulm angegeschlossen. Dort habe ich auch 2013 bei Martin Bossert promoviert, betreut von Pierre Loidreau von der Universität 1 in Rennes, Frankreich. Das Institut für Nachrichtentechnik in Ulm gehört zur Fakultät für Elektrotechnik, wohingegen das Institut in Frankreich ein Mathematik-Institut ist. Es hat mich fachlich sehr weitergebracht, verschiedene Probleme der Codierungstheorie sowohl von ingenieurwissenschaftlicher als auch von mathematischer Seite zu beleuchten.

Nach meiner Promotion habe ich drei Jahre in Haifa/Israel am Technion als Postdoc verbracht. Dies war eine sehr spannende Zeit, sowohl fachlich als auch persönlich. Ich forschte dort am *Department of Computer Science*; mein Host war Tuvi Etzion. Ich hatte die Gelegenheit, mit einigen herausragenden Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Codierungs- und Informationstheorie zusammenzuarbeiten. Die anspruchsvollen Diskussionen und Seminare haben mich wissenschaftlich sehr geprägt und beeinflussten auch meine aktuelle Forschung.

In dieser beschäftige ich mich hauptsächlich mit Codierungstheorie und deren Anwendungen. Ohne Fehlerkorrekturmechanismen würden die wenigsten modernen technischen Anwendungen zuverlässig funktionieren. Ob Telefongespräche, zuverlässige Datenspeicherung auf Festplatten, Solid-State-Drives (SSDs) oder Speicherung von Daten in der Cloud. Alle diese Anwendungen benötigen Codierung, um auftretende Fehler erkennen oder korrigieren zu können. Auch in Zukunft wird die Bedeutung der Codierungstheorie stetig steigen, zumal die Masse der zu verarbeitenden Daten unaufhörlich zunimmt.

Ich freue mich, hier am LNT diese Forschung durchführen und eine Gruppe aufbauen zu können und bin sehr gespannt, welche zukünftigen Zusammenarbeiten sich ergeben werden.

Abschließend möchte ich noch anmerken, dass es für mich als junge Wissenschaftlerin in der Codierungstheorie eine besondere Ehre ist, an Ralf Kötters ehemaligem Lehrstuhl arbeiten zu dürfen und nun die auch von ihm gehaltene Vorlesung *Channel Coding* zu halten.

München, im Oktober 2016

(Antonia Wachter-Zeh)



Gerhard Kramer, Antonia Wachter-Zeh, Markus Stinner, Fabian Steiner, Norbert Hanik und Georg Böcherer

The small welcome event which took place on my first official day surprisingly took place only two weeks ago. During these two weeks, a lot has happened: I have met and gotten to know the members of the LNT, I held my first lecture at TUM, and I dealt with one or the other organizational issue. Furthermore, I am now a big fan of sieve carrier machine-based coffee.

I am very happy to have received the position of a *Rudolf Mössbauer Tenure Track Assistant Professor*. The embedding of my group *Coding for Communications and Data Storage* into the LNT and the helpfulness of all the employees was and is a great help to build up my group. This group will soon be growing: At the end of this year, Andreas Lenz will start as a doctoral candidate and will deal with codes for correcting insertions and deletions. In March, Lukas Holzbaur will start as a second doctoral student. He is currently working on his master's thesis at the LNT, supervised by Hannes Bartz and myself.

It is very nice for me and my family (my husband Alexander and our two year old daughter Amira) to live in Munich. Not far from here (in Traunstein) I graduated from high school and thus know the Munich surroundings quite well. After completing my high school diploma, I began my studies in electrical engineering at DHBW Ravensburg. Since the theoretical content of this dual study did not go deep enough, I continued my studies with a master's degree at Ulm University. I obtained my Ph.D. in 2013 from Ulm University under the supervision of Martin Bossert, co-supervised by Pierre Loidreau from the University 1 in Rennes, France. The Institute of Communications Engineering in Ulm is part of the Faculty of Electrical Engineering, while the institute in France is a mathematical institute. My research has substantially strengthened by studying various problems of coding theory from both an engineering and a mathematical point of view.

After my doctorate, I spent three years in Israel at the Technion as a

2 Personnelles

postdoctoral researcher. This was a very exciting time, both professionally and personally. I was affiliated with the *Department of Computer Science*, where my host was Tuvi Etzion. During this time, I had the opportunity to discuss and co-operate with outstanding scientists in the area of coding and information theory. These challenging discussions and the seminars at the Technion still influence my current research.

My research mainly deals with coding theory and its applications. Without error-correcting codes, not many modern technical applications would function reliably. Whether it is telephone conversations, reliable data storage on hard disks, SSDs, or storage of data in the cloud. All these applications require coding to detect or correct errors. The importance of coding theory will continue to increase steadily in the future, also because the mass of the processed data increases steadily.

I am very happy to carry out this research at the LNT, and I am looking forward to future collaborations.

Finally, I would like to say that it is a great honor for me as a young researcher in coding theory to work at Ralf Köller's former chair and teach *Channel Coding*.

München, October 2016


(Antonia Wachter-Zeh)

3

Lehr- veranstaltungen

3.1 Einige allgemeine Bemerkungen

Gerhard Kramer und Günter Söder

On following pages you will find a list of courses offered by our institute for students of the TUM Department of Electrical and Computer Engineering (EI) during the report period 2014 – 2016. Chapter 3.2 and Chapter 3.3 describe the courses of Professor Kramer (LNT) and his staff for

- Bachelor students (BSEI),
- Master students (MSEI) and the students of the MSCE program.

The courses of Professor Hanik (LÜT) and his staff for master students (MSEI, MSCE) are summarized in Chapter 3.4. In Chapter 3.5 you will find the courses for students for *Lehramt an Beruflichen Schulen* (LB). The abbreviations in the list are

V: Vorlesung (Lecture),
Ü: Übung (Tutorial),
P: Praktikum (Laboratory),
S: Seminar,
PF: Pflichtfach (Mandatory Course),
WA: Wahlfach (Elective Course).
Chapters 3.6 – 3.8 include

- Courses at other universities,
- Talks in the MSEI seminar,
- Talks in the MSCE seminar.

Aufgeführt sind alle Lehrveranstaltungen des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) und der Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT). Nach den letzten Studienreformen werden alle Lehrveranstaltungen (Vorlesungen incl. Übung, Praktika, Seminare) mit (mindestens) 5 ECTS (*European Credit Transfer & Accumulation System*) bewertet:

- im Bachelorstudiengang (BSEI),
- im Masterstudiengang (MSEI),
- für *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE)
- für Studierende des *Lehramts an Beruflichen Schulen* (LB).

An den angebotenen Vorlesungen und den Vorlesenden hat sich seit dem letzten Bericht 2014 wenig geändert. Neu hinzu kamen 2016 die Vorlesungen von

- Dr. Geiger: *Information-theoretic System Analysis and Design*,
- externen Lehrbeauftragten (Kubin, Moulin/Singer): *Advanced Topics in Signal Processing 1* (2015/2016 temporär vom LNT betreut).

Geändert haben sich auf Grund der üblichen Fluktuation der Doktoranden allerdings oft die Übungsassistenten und auch Inhalt und Umfang einiger Veranstaltungen. Die Vorlesungen von Professor Kramer umfassen nun mindestens vier Semesterwochenstunden, also „3V + 1Ü“ oder „2V + 2Ü“ statt der früher üblichen „2V + 1Ü“, was für die Mitarbeiter (und auch für ihn) eine Mehrbelastung bringt. Die Grundlagenvorlesung *Nachrichtentechnik 1* im B.Sc.-Studiengang mit mehr als 300 Studierenden wurde sogar auf „3V + 2Ü“ erhöht.

Es soll noch erwähnt werden, dass Prof. Günter Söder 2015 seine letzte Lehrveranstaltung gehalten hat, mehr als 40 Jahre nach seiner ersten Übung zu den *Statistischen Methoden der Nachrichtentechnik*.

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

3

Lehr-
veranstaltungen

Nachrichtentechnik 1

PF für BSEI 4
SS 2015 und SS 2016:
Kramer mit Schulte
Nr. EI0308: 3V + 2Ü, 5 ECTS

Nachrichtentechnik 2

WA für BSEI 5
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Kramer mit Dierks
Nr. EI0635: 2V + 2Ü, 5 ECTS

Basic Laboratory Course on Telecommunications

WA für BSEI 5/6
jedes Winter- und Sommersemester:
Kramer mit Nedelcu, Stinner
Nr. EI0679: 4P, 5 ECTS

Mobile Communications

WA für BSEI 6
SS 2015 und SS 2016:
Kramer mit Staudacher
Nr. EI0697: 2V + 2Ü, 5 ECTS

Information Theory

WA für MSEI 1 und MSCE-CS 1
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Kramer mit Palzer
Nr. EI7431: 2V + 2Ü, 5 ECTS

3.2 LNT-Lehrveranstaltungen für BSEI

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.

Die Struktur des optimalen Empfängers: Signale und Vektorräume, Maximum a posteriori Entscheider, Theorem der Irrelevanz, Entscheidungsregionen und Fehlerwahrscheinlichkeit. Bandpass-Signale und -Systeme: Tiefpass-Darstellung von Bandpass-Signalen und Bandpass-Systemen. Digitale Modulationsarten: Verfahren, die kohärente Demodulation erfordern (OOK, BPSK, ASK, PSK, QAM, FSK, MSK), nichtkohärente Demodulationsverfahren (OOK, FSK, DPSK). Entzerrung: Optimaler Empfänger, lineare Entzerrer (Zero-Forcing-Ansatz, Lineares Minimum Mean-Square-Error (LMMSE) Kriterium), nichtlineare Entzerrer (Decision-Feedback-Entzerrer, Tomlinson-Harashima Precoding), Maximum-Likelihood Entzerrung. Multiplexverfahren: Frequenz-Multiplex (FDM), Orthogonales Frequenzmultiplex (OFDM). Informationstheoretische Grundbegriffe: Elemente der Quellencodierung und der Kanalcodierung, Shannon-Grenze für AWGN und BSC.

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

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

3.3 LNT-Lehrveranstaltungen für MSEI und MSCE

Review of probability theory. Information theory for discrete and continuous variables: entropy, informational divergence, mutual information, inequalities. Coding of memoryless sources: rooted trees with probabilities, Kraft inequality, entropy bounds on source coding, Huffman codes, Tunstall codes. Coding of stationary sources: entropy bounds, Elias code for the positive integers, Elias-Willems universal source coding, hidden finite-memory sources.

Channel coding: memoryless channels, block and bit error probability, random coding, converse, binary symmetric channel, binary erasure channel, symmetric channels, real and complex AWGN channels, parallel and vector AWGN channels, source and channel coding.

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

Fundamental concepts of Multi-user Information Theory. Topics: source coding; rate-distortion; 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.

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

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

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

A digital modulation system provides the interface between a physical medium serving as a communication channel and a coding system for error correction. In this course, we develop design rules for digital modulation systems using tools from information theory. Topics covered: Capacity of the AWGN channel, asymptotic limits for reliable communication. Constrained input: uniform input distribution, finite input constellations. Probabilistic shaping:

Channel Coding

WA für MSEI 1 und MSCE-CS 1
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Böcherer mit Bartz
Nr. EI7316: 3V + 1Ü, 5 ECTS

Multi-user Information Theory

WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015: Kramer mit Saeedi, Amjad
SS 2016: Böcherer mit Amjad, Wu
EI7353: 2V + 2Ü, 5 ECTS

Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

WA für MSEI 2/3
WS: Kramer, Hanik mit Brauchle, Geiger
SS: Kramer, Hanik mit Kernetzky
Nr. EI7762: 3S, 5 ECTS

Wireless Communications Laboratory

WA für MSEI 2
SS 2015 und SS 2016:
Kramer mit Günlü, Nedelcu
Nr. EI7426: 4P, 5 ECTS

Channel Codes for Iterative Decoding

WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015 und SS 2016:
Liva mit Matuz, Stinner
EI7411: 3V + 1Ü, 5 ECTS

Coded Modulation

WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015 und SS 2016:
Böcherer mit Fehenberger
EI7412: 3V + 1Ü, 5 ECTS

3

Lehr-
veranstaltungen

Information-theoretic System Analysis and Design

WA für MSEI 2

SS 2016: Geiger mit Palzer

Nr. EI7484: 2V + 1Ü, 5 ECTS

capacity-achieving input distributions. Code taxonomy, Gray labeling of constellations, binary encoding for capacity-achieving distributions. Bit-metric decoding, soft demapping, L-values. Receiver quantization.

Information measures including information loss, information dimension, information rate, differential entropy. Behavior of information measures when subject to nonlinear transforms. Information loss in simple linear and nonlinear transforms: full-wave and half-wave rectifier, quantizer, linear filter. The problem of relevance: Information Bottleneck Method and signal enhancement. Principal components analysis and anti-aliasing low-pass filters: optimality regarding mean squared-error, criteria for information-theoretic optimality.

System Aspects in Communications

WA für MSEI 3 und MSCE-CS 3

WS 2014/2015 und WS 2015/2016:

Viering mit Nedelcu

Nr. EI7432: 2V + 1Ü, 5 ECTS

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.

Praktikum Simulation digitaler Übertragungssysteme

WA für MSEI 1

WS 2014/2015 und WS 2015/2016:

Söder

Nr. EI7367: 4P, 5 ECTS

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

Communications Laboratory

WA für MSCE-CS 1

WS 2014/2015: Kramer mit İşcan,
Staudacher

WS 2015/2016: Kramer mit Günlü,
Staudacher

Nr. EI5032: 4P, 6 ECTS

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

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

The objective of this course is to cover the fundamental information-theoretic and coding-theoretic aspects of physical-layer security. The premise of physical-layer security is to exploit the noise inherently present in most communication systems to provide security enhancements, including authentication and confidentiality. The course will provide a unified perspective on both theoretical and more practical aspects of physical-layer security. In particular, the concepts of channel resolvability and channel intrinsic randomness will be introduced as “building blocks” to analyze the fundamental limits of physical-layer security and develop explicit error control coding scheme.

This course aims at providing the theoretical and practical background in wireless multiple-input multiple-output (MIMO) orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) communications relevant to the current and future cellular systems (e.g., LTE, 4G, and 5G). First part (single-user scenario): Capacity of MIMO-OFDM channels under different channel state information (CSI) assumptions; tradeoff between multiplexing gain and diversity. Second part (multi-user scenario): Capacity of Gaussian multi-user downlink/uplink channels; multi-user diversity; opportunistic transmission strategies; duality between the MIMO uplink and the MIMO downlink; presentation of a number of linear/non-linear precoding schemes. Third part: practical designs for channel training and feedback; extensions such as network MIMO-OFDM and massive MIMO-OFDM.

Theory and applications of nonlinear signal processing with the following topics: memoryless nonlinearities: limiters, quantizers, classifiers. Nonlinear dynamical systems: nonlinear filters and oscillators, chaos theory. Nonlinear statistics: higher-order statistics and information theory. Parallel distributed processing: neural networks and learning theory. Modeling of natural signals with nonlinear systems. Algorithms for time series analysis and signal synthesis. Nonlinear devices in digital communications systems.

Probability review: probability, conditional probability, conditional expectation, iterated expectation; covariance matrices; Gaussian random variables, vectors, and processes; linear operations and filters on random vectors. Linear minimum mean squares errors estimation: scalar, vector, infinite dimensional settings; orthogonality and MMSE estimation; Kalman filter. Nonlinear estimation: Bayesian estimation, Maximum a Posteriori (MAP) and MMSE, Maximum Likelihood (ML) estimation, application to estimation of mean or

Seminar on Topics in Communications Engineering
WA für MSCE-CS 3
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Kramer, Hanik mit Amjad
Nr. EI5083: 3S, 6 ECTS

Advanced Topics in Communications Engineering
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015: Bloch, Kramer mit Günlü
EI5082: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Advanced Topics in Communications Engineering
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2016: Kobayashi mit Günlü
EI5082: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Advanced Topics in Signal Processing
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015: Kubin mit Barletta
EI7601: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Advanced Topics in Signal Processing
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2016: Moulin, Singer mit Stinner, Yuan
EI7601: 2V + 1Ü, 5 ECTS

3

Lehr-
veranstaltungen

variance of Gaussian vectors, case of many independent observations, ML estimation of probabilities (e.g. parameters of Bernoulli or Poisson laws), Cramer Rao lower bound on parameter estimation, Fisher information; hidden Markov models. Detection: binary hypothesis testing; Bayes and Neyman Pearson optimality criteria; Gaussian and Poisson examples; composite hypothesis testing; signal detection in noise.

3.4 LÜT-Lehrveranstaltungen für MSEI und MSCE

**Leitungsgebundene
Übertragungstechnik**
WA für MSEI 1
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Hanik mit Fehlenberger
Nr. EI7346: 2V + 1Ü, 5 ECTS

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

Optical Communication Systems
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015 und SS 2016:
Hanik mit Chen
Nr. EI5075: 3V + 1Ü, 6 ECTS

General Structure of optical Wavelength-Division-Multiplexed-Transmission Systems. Optical Transmitters and Modulators: LED, Laser, Direct Modulation, Mach-Zehnder-Modulator. Physical properties of standard single mode fibers: attenuation, chromatic dispersion, polarization mode dispersion. Physical origin and impact of fiber nonlinearities: Four-Wave Mixing, Raman Scattering, Self- and Cross-Phase Modulation. Optical amplifiers. Optical filters. Optical receiver. Generation and detection of various optical modulation schemes: NRZ/RZ intensity modulation, suppressed carrier RZ, RZ-DPSK, RZ-DQPSK, multi-level modulation schemes. Direct detection, differential detection, coherent detection. Modelling optical signal propagation using the Nonlinear Schrödinger Equation (NLS). Numerical solution of the NLS. Performance evaluation of optical transmission systems: bit error ratio, system margin, system penalty. Optical/electrical equalization of signal distortions. Optimized system design. High-channel WDM systems, ultra-long-haul systems, soliton systems.

**Simulation of Optical
Communication Systems
Laboratory**
WA für MSEI 2 und MSCE-CS 2
SS 2015, WS 2015/2016 und
SS 2016:
Hanik mit Khanna
Nr. EI5030: 4P, 6 ECTS

This Lab course offers an introduction to modelling, simulation and physical optimization of optical communication systems. The course employs a commercial photonic system design software (Optiwave Photonic Design Tools) that is used world-wide. In the first session the transmitter and receiver components, i.e., laser, external modulator and photo detector are described and analyzed in the simulation. The following sessions are dedicated to linear and nonlinear fiber effects and the degradation of signal quality they cause. The last experiments deal with optical amplifiers and the optimization of the link design of optical communication systems.

3.5 Studiengang Lehramt an Beruflichen Schulen (LB)

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

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 und Demodulation. Einfluss von Rauschstörungen. Prinzip der digitalen Modulationsverfahren: Zeitdiskrete Signaldarstellung, Puls-codemodulation. Grundlagen der Digitalsignalübertragung.

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

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

Grundlagen der Informations-technik (LB)

PF für LB-BSc 1 und BWL-BSc 3
WS 2014/2015:
Hanik mit Oberleithner
WS 2015/2016:
Hanik mit Kernetzky
Nr. EI2981: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Signaldarstellung (LB)

PF für LB-BSc 3 und BWL-BSc 5
WS 2014/2015 und WS 2015/2016:
Hanik
Nr. EI2985: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Modulationsverfahren (LB)

PF für LB-BSc 6, WA für BWL-BSc 6
SS 2015 und SS 2016:
Hanik
Nr. EI2987: 2V + 1Ü, 5 ECTS

Praktikum Nachrichtentechnik (LB)

WA für LB-BSc 6
SS 2015: Söder
SS 2016: Hanik
Nr. EI2191: 3P, 5 ECTS

Nachrichtensysteme – Kommunikationssysteme (LB)

WA für LB-MSc 2
SS 2015 und SS 2016:
Böcherer
Nr. EI2183: 2V + 1Ü, 5 ECTS

3

Lehr- veranstaltungen

Codierung mit variabler Länge: Datenkompression und Verteilungsanpassung

Böcherer
Vorlesung am CDHK
Tongji University Shanghai
30.03. – 03.04.2015
07.03. – 11.03.2016

Coding and Modulation for Communication at the Ultimate Shannon Limit

Böcherer und Steiner
Tutorial at ISWCS 2016
Poznan University of Technology,
Poland
20.09.2016

Optische Kommunikation für Flugzeuge, UAVs und Satelliten

Hanik und DLR-Mitarbeiter
Kompaktkurs DK 1.14 an der
Carl-Cranz-Gesellschaft e.V.
Oberpfaffenhofen
26.04. – 27.04.2016

Digital Communications 1

Kramer mit Stinner
Vorlesung für TUM-Asia
Singapur
23.02. – 06.03.2015
15.02. – 26.02.2016

3.6 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. Studierende aus China erlangen in zwei bis drei Jahren einen Masterabschluss, u.a. an der Fakultät Elektrotechnik. Gut die Hälfte der CDHK-Studenten erhält ein Stipendium für ein Semester oder ein Praktikum in Deutschland. Es besteht die Möglichkeit, an der TU München oder der Ruhr-Universität Bochum einen Doppelmasterabschluss (Chinesisch-deutscher Doppelmaster) zu erlangen.

Die Vorlesungen werden in deutscher Sprache gehalten. Zur Lehre tragen auch mehr als zwei Dutzend deutsche Gastprofessoren mit Blockvorlesungen bei. Bereits seit 1998 sind Dozenten vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik dabei. Die LNT-Vorlesungen werden seit dem Frühjahr 2013 von Dr. Böcherer gehalten und sind wie folgt gegliedert: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Informationsmaße, Wurzelbäume mit Wahrscheinlichkeiten, Verteilungsanpassung, Daten-Kompression, Codierung für rauschfreie Kanäle.

Following over ten years of tradition, the *Thirteenth International Symposium on Wireless Communication Systems* (ISWCS'16) brought together experts from various research and industry fields of wireless communications, as well as representatives of standardization and regulatory bodies.

Our tutorial gave an introduction to Probabilistic Amplitude Shaping. After attending the tutorial, the participant is able to use off-the-shelf components to design coding and modulation systems that can operate for any desired spectral efficiency within 1 dB of $\log_2(1 + \text{SNR})$. The tutorial follows a lecture style with interactive participation by examples and code snippets, which can be accessed via the website and can be used with an ordinary smart phone.

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

Der zweitägige Kurs DK 1.14 gibt einen Überblick über die Sende- und Empfangssysteme optischer Freiraumübertragungssysteme über lange Distanzen in mobilen Szenarien wie Satellit-Boden-Verbindungen. Vermittelt werden die wichtigsten Modulationsformate und die wesentlichen Kanaleigenschaften (atmosphärische Effekte, Streuung, Brechungsindexturbulenz, usw.) und deren Auswirkungen auf das Übertragungssystem.

TUM-Asia began in Singapore in 2002 as an affiliate of the Technical University of Munich (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 German Academic Exchange Service (DAAD). The Bachelor of Science in the 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 I* in Munich.

The *European School of Information Theory* (ESIT) is an annual educational event organized by the IEEE Information Theory Society. The objective of the school is to provide graduate students with the opportunity (i) to learn from distinguished lecturers, (ii) to present their own work to obtain feedback and to start collaborations, (iii) to hear about industrial applications of information theory, and (iv) to participate in a stimulating and inviting forum of scientists.

The IEEE Information Theory Society organizes summer and winter schools in Europe and North America since 2008, and in East Asia, India, and Australia since 2014. Gerhard Kramer was advisor for the European Schools in The Netherlands (2015) and Sweden (2016).



Participants of ESIT 2015 in Zandvoort, The Netherlands

The course covered information theory for two problems: wiretap channels and biometric (or physical) identifiers. For wiretap channels, a security measure called “effective” secrecy was considered that includes the concept of stealth in addition to secrecy.

This course reviewed basic information-theoretic quantities such as entropy, informational divergence, mutual information, and typical sequences. The multi-terminal problems treated include distributed source coding, multi-access channels, and interference channels.

The course reviewed basic information-theoretic quantities such as entropy, informational divergence, and mutual information. The first advanced topic was data compression, including rate-distortion theory and distributed source coding. The second advanced topic dealt with channel coding, including multi-access and broadcast channels. The third advanced topic dealt with randomness and secrecy.

2015 European School of Information Theory (ESIT 2015)

Kramer
Zandvoort, The Netherlands
20.04. – 24.04.2015

2016 European School of Information Theory (ESIT 2016)

Kramer
Gothenburg, Sweden
04.04. – 08.04.2016

2015 Indian School of Information Theory

Kramer
Indian Institute of Science (IISc)
Bangalore, India
20.07. – 23.07.2015

Advanced Information Theory

Kramer
Graz University of Technology
Graz, Austria
16.03. – 10.04.2015

3

Lehr- veranstaltungen

Information-theoretic Foundations of Distributed Compression

Kramer

Infotech Oulu Doctoral Program &
RESCUE Project Summer School
Oulu, Finland

24.08. – 27.08.2015

Modern Channel Coding – Theory and Applications

Kramer, ten Brink, Huber, Liva mit
Schulte
Kurs 7 bei der Ferienakademie 2015
Sarntal, Südtirol, Italien
20.09. – 02.10.2015

Massive Multiple-Input, Multiple- Output Communication

Kramer, ten Brink, Huber, Müller
mit Steiner
Kurs 8 bei der Ferienakademie 2016
Sarntal, Südtirol, Italien
18.09. – 30.09.2016

The course reviewed basic information-theoretic quantities such as entropy, informational divergence, and mutual information. The second part of the course covered topics of distributed source coding, including lossless and lossy source coding with side information. The third part of the course dealt with networks, including multiple description source coding, compress-and-forward relaying, and noisy 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 Berggasthäusern im Südtiroler Sarntal statt. Sie werden durch Spenden von Firmen und von Fördervereinen der beteiligten Universitäten (FAU Erlangen-Nürnberg, Uni Stuttgart, TU München) finanziert, wodurch insbesondere die Fahrt- und Aufenthaltskosten der Teilnehmer abgedeckt werden. Ein typischer Ferienakademiekurs besteht aus etwa 14 Studierenden und zwei Professoren, das Programm ist meistens seminarähnlich mit Vorträgen der Teilnehmer. In einigen Kursen wird gemeinsam an einem Projekt gearbeitet. Ein Freizeitprogramm, bei dem Bergwanderungen natürlich eine große Rolle spielen, ist wesentlicher Bestandteil der Ferienakademie.

2015 wurde der Kurs 7 für Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informations- und Kommunikationstechnik, Informatik, Mathematik sowie Physik gemeinsam von Prof. Johannes Huber (FAU Erlangen) und Prof. Gerhard Kramer (TUM) geleitet. Als Gastdozenten wirkten Dr. Gianluigi Liva (DLR) und Prof. Stephan ten Brink (Universität Stuttgart) mit.

An den gleichen Hörerkreis richtete sich der Kurs 8 im Herbst 2016. Er wurde gemeinsam von Prof. Ralf Müller (FAU Erlangen) und Prof. Gerhard Kramer geleitet. Als Gastdozent wirkte Prof. Stephan ten Brink mit.



Die Teilnehmer der Ferienakademie 2016 bei den „Stoanerne Mandln“ mit den Professoren Stephan ten Brink (vorne, 2.v.li.) Ralf Müller (hinten li.) und Gerhard Kramer (hinten in der Mitte).

3.7 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

Wintersemester 2014/2015

- 27.11.2014 **Erich Heimerl** – Betreuer: Dr. Timo
Finite Blocklength Information Theory
- 27.11.2014 **Erich Pengyao Chen** – Betreuer: M. Jäger
Energy Minimization for Load Coupled Wireless Networks
- 27.11.2014 **Jianghua Xu** – Betreuer: M. Jäger
Resource Sharing Optimization for Device-to-Device
Communication Underlaying Cellular Networks
- 27.11.2014 **Qiping Shao** – Betreuer: O. İşcan
Instantaneous Relaying
- 11.12.2014 **Yishuang Sun** – Betreuer: H. Bartz
List Decodable Subspace Codes
- 11.12.2014 **Li Chen** – Betreuer: J. Brauchle
Decodierung von (Interleaved) Reed-Solomon Codes mit dem
Coppersmith-Sudan Algorithmus
- 11.12.2014 **Yijing Shao** – Betreuer: T. Fehenberger
Comparison of Split-Step Fourier Schemes for Solving the
Nonlinear Schrödinger Equation
- 11.12.2014 **Andreas Greiner** – Betreuer: S. Dierks
Parallel Computing Toolbox in MATLAB
- 18.12.2014 **Clemens Blöchl** – Betreuer: L. Palzer
Coding for the Gaussian Channel with Active Feedback
- 18.12.2014 **Boxiao Ma** – Betreuerin: E. Georg (jetzt: Oberleithner)
Modeling and Mitigation of Impulse Noise in Power line
Communication Systems
- 18.12.2014 **Peihong Yuan** – Betreuer: M. Heindlmaier
LDPC-Code für Quellencodierung

Sommersemester 2015

- 11.06.2015 **Bannour Houda** – Betreuer: M. Jäger
Power Control in LTE and Beyond
- 11.06.2015 **Johannes Herdegen:** – Betreuer: S. Dierks
Carrier Aggregation in LTE Advanced

Dieses Hauptseminar ist eine gemeinsame Wahlpflichtveranstaltung des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) und der Professur 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

- Joschi Brauchle (WS 2014/2015),
- Tasnád Kernetzky (SS 2015 und 2016),
- Dr. Bernhard Geiger (WS 2015/2016).

3

Lehr- veranstaltungen

- 11.06.2015 **Liu Xiaotong** – Betreuer: A. Nedelcu
Basic Operations of MIMO in LTE Downlink
- 11.06.2015 **Marcus Vitzthum** – Betreuer: P. Schulte
LTE - Authentication and Security
- 18.06.2015 **Bogdan Balauta** – Betreuer: O. Günlü
Channel Estimation in LTE Downlink
- 18.06.2015 **Julian Emmert** – Betreuerin: E. Oberleithner
LTE Positioning of Mobiles
- 18.06.2015 **Li Bowen** – Betreuerin: G. Khanna
Long Term Evolution: System Architecture and Protocols
- 18.06.2015 **Julian Renner** – Betreuer: T. Fehenberger
OFDM versus Filter Bank Multicarrier
- 18.06.2015 **Myran Børge** – Betreuer: T. Kernetzky
LTE Link and System Level Simulation
- 25.06.2015 **Karl Budweiser** – Betreuer: R. A. Amjad
Relaying in LTE Advanced
- 25.06.2015 **Li Shan** – Betreuer: Y. Chen
Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) and Synchronization
- 25.06.2015 **Manuela Meier** – Betreuer: H. Bartz
Channel Coding in UMTS and LTE
- 25.06.2015 **Martin Schmidhammer** – Betreuer: M. Stinner
Channel Models
- 25.06.2015 **Tobias Schneider** – Betreuer: L. Palzer
HD Voice for LTE Speech Transmission

Wintersemester 2015/2016

- 10.12.2015 **Tobias Maucher** - Betreuer: T. Kernetzky
Power Line Communications
- 10.12.2015 **Kairen Liu** – Betreuer: Dr. Geiger
Information Dimension
- 10.12.2015 **Kai Akselrad** – Betreuer: H. Bartz
Sudoku Codes

- 10.12.2015 **Yingying Shi** – Betreuer: S. Dierks
EIRP-Constrained Precoding
- 17.12.2015 **Zhongyao Zhang** - Betreuer: P. Schulte
Distribution Matching
- 17.12.2015 **Ghassen Zafzouf** – Betreuer: M. Staudacher
Massive MIMO
- 17.12.2015 **Qiupeng Gan** – Betreuer: M. Staudacher
MIMO Channels

Sommersemester 2016

- 09.06.2016 **Hiba Arnout** – Betreuer: T. Kernetzky
Receiver Synchronization Methods with Focus on OFDM Systems
- 09.06.2016 **Stephanie Dangl** – Betreuer: P. Yuan
The Construction of Polar Codes
- 09.06.2016 **Daniel Schwab** – Betreuer: M. Staudacher
Massive MIMO with Hardware Impairments
- 16.06.2016 **Thilo Garbe** – Betreuer: H. Bartz
Repairing Reed-Solomon Codes
- 16.06.2016 **Julia Kolbinger** – Betreuer: T. Fehenberger
Analysis of Gaussian Noise Models for Signal Propagation in Optical Fiber Systems
- 16.06.2016 **Wassim Zaouali** – Betreuer: S. Dierks
EIRP Constraints and Measurement

3.8 Seminar on Topics in Communications Engineering

Wintersemester 2014/2015

- 10.01.2015 **Pedram Amini Rad** – Betreuer: O. Günlü
Error Correction for Cryptographic Primitives
- 10.01.2015 **Ginni Khanna** – Betreuer: Y. Chen
Comparison of Memory and Memoryless Behavioral Models for High Bandwidth Nonlinear Driver Amplifiers in Optical Communication Systems

This lecture is a mandatory course of the Master of Science in Communications Engineering program in the 3rd semester. The MSCE students are obliged to prepare a report and give a presentation on recent topics of the Communications Engineering field. Organization by Rana Ali Amjad, M.Sc.

- 10.01.2015 **Anastasios Dimas** – Betreuer: M. Stinner
An Application of Lattice Codes
- 10.01.2015 **Waqar Akhtar** – Betreuer: M. Stinner
Irregular Repeat Accumulate LDPC Codes
- 17.01.2015 **Anastasios Kakkavas** – Betreuer: A. Nedelcu
MIMO Communications with Reconfigurable Antenna Arrays
- 17.01.2015 **Boushra Kanj** – Betreuer: A. Nedelcu
Multi Objective Signal Processing Optimization: The Way to Balance Conflicting Metrics in 5G
- 17.01.2015 **Ana Pavlovic** – Betreuer: Dr. Barletta
Capacity of a Nonlinear Optical Channel with Finite Memory

Wintersemester 2015/2016

- 09.01.2016 **Yunhong Ju** – Betreuer: T. Fehenberger
Geometric and Probabilistic Shaping for the AWGN Channel
- 13.01.2016 **Eduardo Ocete** – Betreuer: A. Nedelcu
Magnetic MIMO
- 13.01.2016 **Mustafa Cemil Coskun** – Betreuer: R. A. Amjad
Application of Polar Codes for Information-theoretical Secrecy
- 13.01.2016 **Sean Rohringer** – Betreuer: L. Palzer
Feedback Control under Data Rate Constraint



4.1 Einige allgemeine Bemerkungen

Bernhard C. Geiger und Günter Söder

During the period 10/2014-09/2016 the professors and assistants of the *Institute for Communications Engineering* (LNT) and *Wireline Transmission Technology* (LÜT) supervised a number of theses and projects:

- Master's theses: 32
- Bachelor's theses: 33
- "Forschungspraxis": 13
- MSCE Internship: 3
- "Ingenieurspraxis": 32.

Im Berichtszeitraum vom 01.10.2014 bis zum 30.09.2016 wurden an unserem Lehrstuhl 32 *Master's Theses* (LNT: 25, LÜT: 7) abgeschlossen, die im Kapitel 4.2 aufgeführt sind. Die Mehrzahl dieser Abschlussarbeiten wurden im regulären Masterstudiengang unserer Fakultät (MSEI) angefertigt. Hier wird die Master's Thesis mit 30 Credits gewertet, was einer Vollzeittätigkeit von 24 Wochen entspricht. Sie trägt somit zur Gesamtnote zu einem Viertel bei. Die Zeit zwischen Anmeldung und Abgabe darf 52 Wochen nicht überschreiten. Im Normalfall sollte die Arbeit allerdings innerhalb von sechs Monaten abgeschlossen werden.

In der Liste von Kapitel 4.2 sind auch die Master's Theses innerhalb des englischsprachigen Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* mit berücksichtigt. Es gelten vergleichbare Bedingungen wie im Studiengang MSEI, doch ist hier die Bearbeitungszeit streng auf sechs Monate limitiert.

Einige Arbeiten wurden gemeinsam mit Forschungspartnern betreut, unter anderem mit BMW, Huawei, Intel, Siemens, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Rohde & Schwarz (R&S) und Nokia Solutions and Networks (NSN).

Die 33 betreuten *Bachelor Theses* (LNT: 26, LÜT: 7) sind in Kapitel 4.3 zusammengestellt. Die Bachelorarbeit ist Teil des sechssemestrigen Bachelorstudiengangs (BSEI). Sie wird mit 12 Credits gewertet und soll in neun Wochen bearbeitbar sein.

Die so genannte *Forschungspraxis* (für MSEI) und das *MSCE Internship* sollen bereits im Masterstudium einen Einblick in die aktuellen Forschungsthemen ermöglichen. Die Module umfassen jeweils eine Zeitspanne von neun Wochen (Vollzeit) und werden mit 12 Credits bewertet. Von LNT und LÜT wurden im Berichtszeitraum 16 solcher Arbeiten betreut (LNT: 14, LÜT: 2, siehe Kapitel 4.4). Die drei als MSCE Internship durchgeführten Arbeiten sind als „(MSCE)“ markiert

Das Kapitel 4.5 listet die 32 Studentinnen und Studenten auf, die ihre *Ingenieurspraxis* unter der Aufsicht von Prof. Kramer (20) bzw. Prof. Hanik (12) abgeleistet haben. Diese ist für den Studiengang BSEI obligatorisch. Sie wird meist durch eine Firma direkt betreut, dauert neun Wochen und zählt mit 12 Credits. Bewertet wird sie nur mit Bestanden/Nicht bestanden.

4.1 Einige allgemeine Bemerkungen

4.2 Master's Theses (MSEI, MSCE)

4.3 Bachelor's Theses

4.4 Forschungspraxis & MSCE Internships

4.5 Ingenieurspraxis



4.2 Master's Theses für MSEI und MSCE

30.10.2014 **Marcin Pikus** - Betreuer: Dr. Böcherer
Communication over Rayleigh Block Fading Channels

30.10.2014 **Patrick Schulte** - Betreuer: Dr. Böcherer
Zero Error Fixed-to-Fixed Length Distribution Matching

02.11.2014 **Neha Baheti** - Betreuer: A. Nedelcu, S. Dierks, Dr. Panzner
(NSN)
Antenna Failure Analysis of Massive MIMO Arrays

LNT

02.11.2014 **Prashanth Raju** - Betreuer: A. Nedelcu, Dr. Braun, A. Frech
(Gauss Instruments)
Design and Implementation of Analog and Digital Signal Demodulation in
Real Time on FPGA for Evaluation of EMI

02.11.2014 **Arthur Smolorz** - Betreuer: A. Nedelcu, Dr. Jost (DLR)
Using GNSS for Satellite-to-Earth Channel Sounding Applications

07.12.2014 **Fabian Steiner** - Betreuer: Dr. Böcherer, Dr. Liva (DLR)
LDPC Code Design for Bit-metric Decoding

06.01.2015 **Julian Schiele** - Betreuer: Dr. Hou, R. A. Amjad, Prof. Kim
(UCSD)
Analytical and Numerical Studies on the Capacity Region for Index Coding

20.01.2015 **Markus Jäger** (jetzt: Staudacher) - Betreuer: M. Heindlmaier,
Dr. Fertl, R. Zhe (beide BMW Forschung und Technik)
Advanced Concept for Enhancing Nomadic Relay Network Performance in
5G Systems

20.01.2015 **Gwenael Kosider** - Betreuer: M. Stinner
Network Coding for Wireless Communications

12.04.2015 **Tobias Fülle** - Betreuer: O. Günlü, M. S. Rodríguez (AED
Engineering)
Preamble Detection on NC-OFDM for Dynamic Synchronization

21.04.2015 **Jonas Eichler** - Betreuer: S. Dierks, Dr. Harteneck (R&S)
Device-to-Device Communication in LTE Mobile Systems

27.05.2015 **Thomas Jerkovits** - Betreuer: Prof. Kramer, Dr. Liva, Dr.
Matuz (beide DLR)
Design of Short Turbo Codes

11.06.2015 **Mark Sagi** - Betreuer: M. Stinner, M. Mück (Intel)
Joint Channel Coding for Heterogeneous Radio Environments

04.09.2015 **Stefan Thiel** - Betreuer: O. Günlü, L. Korsmeier, M. Gerth
(beide R&S)
Analysis of AM Demodulation for Speech-based Airborne Communications
under Multipath Propagation

09.09.2015 **Li Chen** - Betreuer: Dr. Geiger
Greedy Aggregation Methods for Markov Chains

29.09.2015 **Qiping Shao** - Betreuer: P. Schulte, Dr. Böcherer
Probabilistic Amplitude Shaping for OFDM



29.09.2015 **Peihong Yuan** - Betreuer: Dr. Böcherer, P. Schulte, M. Stinner
Rate-matched Coded Modulation for Wireless Transmission

13.10.2015 **Anastasios Dimas** - Betreuer: M. Stinner
Peeling Decoding Analysis of Non-binary LDPC Codes

15.03.2016 **Frank Löw** - Betreuer: Dr. Wu, Dr. Saeedi, P. Alber (Hekatron
Vetriebs GmbH)
Identification, Development, and Simulation of Protocol Concepts for a
Battery-driven Backbone-router

15.04.2016 **Yuchen Wu** - Betreuer: Dr. Geiger
Higher-order Kullback-Leibler Aggregation of Markov Chains

07.06.2016 **Tobias Prinz** - Betreuer: Dr. Böcherer, P. Yuan
Polar Codes for Higher-order Modulation and Probabilistic Amplitude Shaping

07.06.2016 **Andreas Ditler** - Betreuer: A. Nedelcu
Numerical Evaluation of Capacity for Phase Noise Channels

07.06.2016 **Nicolas Blum** - Betreuer: A. Nedelcu, Y. Chen, J. Biedermann
(R&S)
Blind Symbol Rate and Timing Synchronization Estimators for a Non-
cooperative Multitone Receiver

02.09.2016 **Sirui Zhang** - Betreuer: P. Yuan
Non-Asymptotic Complexity of Polar List Decoding

02.09.2016 **Zeng Fan** - Betreuer: P. Yuan
Soft-output Decoding of Polar Codes

19.11.2014 **Tasnád Kernetzky** - Betreuer: E. Oberleithner, Dr. Zhang
(Siemens AG)
Powerline Communications for Industrial Applications

LÜT

19.11.2014 **Martinez Laura Pastor** - Betreuer: E. Oberleithner
SDR-based Experimental Setup for Evaluating System Performance with
QAM and Differential PSK

04.09.2015 **Zhaoli Chu** - Betreuer: Y. Chen
Preamble-based Channel Estimation in Coherent Spatial Division
Multiplexing OFDM Transmission Systems

27.10.2015 **Arun Sattanathan Gothandaraman** - Betreuer: Prof. Hanik,
Dr. Ramirez (DLR)
Firmware Development and Testing for Optical Communication
Transceivers

15.01.2016 **Vijay Pravin Maharajan** - Betreuer: Prof. Hanik, C. Anriquez
(Telefonica)
Radio Network Demand Management and Traffic Forecasting using
Network Data

29.01.2016 **Boxiao Ma** - Betreuer: Prof. Hanik, C. Gentner (DLR)
Multipath Assisted Positioning: Mapping of Virtual Transmitters

01.08.2016 **Sara-Lee Steffan** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Putzer (OHB
System AG)
Development and Design of an Optical Transceiver Module



4.3 Bachelor's Theses

07.12.2014 **Sahiti Akella** - Betreuer: Dr. Yousefi
Optical Fiber Channel

12.01.2015 **Julian Leyh** - Betreuer: Prof. Kramer, T. Bichlmaier (R&S)
Video over IP

12.04.2015 **Ekin Alican Igdir** - Betreuer: O. Günlü, Dr. İşcan
Cooperative Communication using Software Defined Radio

LNT

31.05.2015 **Hiba Arnout** - Betreuer: Dr. Geiger
Implementation of an Efficient Lumping Algorithm

19.06.2015 **Firat Beytemür** - Betreuer: A. Nedelcu
Implementation of an ADS-B Receiver

06.07.2015 **Said Ben Bouzid** - Betreuer: M. Staudacher, S. Dierks
Antenna Selection in Massive MIMO

16.07.2015 **Arda Can Özencsoy** - Betreuer: Dr. Geiger
First-fit Approach to the Parking Problem

16.07.2015 **Franziska Pöller** - Betreuer: S. Dierks, M. Staudacher
Hybrid Beamforming for Massive MIMO

23.08.2015 **Dina Khaled Sayed Abdel-Hadi** - Betreuer: Dr. Yousefi
Information Theory of Multi-mode Optical Fiber

13.10.2015 **Stephanie Dangl** - Betreuer: H. Bartz, Dr. Sidorenko
A Soft-information Model for Random Linear Network Coding

13.10.2015 **Achraf Kamoun** - Betreuer: Dr. Geiger
An Information-theoretic Take on the Oddball Problem

18.12.2015 **Jun Jian Tay** - Betreuer: M. Stinner
Performance Analysis of Spatially Coupled LDPC Codes

31.12.2015 **Georg Maringer** - Betreuer: Dr. Timo
Computing Error Bounds for the Tracking of an Unstable Linear System
over a Discrete Memoryless Channel

09.02.2016 **Mohamed Aziz Ben Slimane** - Betreuer: A. Nedelcu
DVB-T Transmission with GNURadio and USRP

15.03.2016 **Muhammed Efe** - Betreuer: Dr. Geiger, A. Nedelcu,
Prof. Barletta
Candy Crush Codes

15.03.2016 **Daniel Külzer** - Betreuer: S. Dierks
Interference Coordination in Cellular Networks

01.07.2016 **Mohamed Chennoufi** - Betreuer: P. Schulte, H. Weigold
(R&S)
Raptor Codes for IP Video and Audio Transmission

01.07.2016 **Emna Ben Yacoub** - Betreuer: Dr. Geiger, P. Schulte
Community Detection Methods for Play Analysis



06.07.2016 **Mohamed Amine Hadiji** - Betreuer: M. Stinner, C. Martini
(Airbus Group)
Examination of Automated Tests

09.08.2016 **Ihem Brayek** - Betreuer: M. Staudacher
Massive MIMO Uplink System with Low-resolution ADCs

09.08.2016 **Simon Heine** - Betreuer: Dr. Geiger
Markov Aggregation via Clique-Partition

02.09.2016 **Wafa Labidi** - Betreuer: Dr. Böcherer
Resynchronization of Variable Length Coding

02.09.2016 **Anes Belkacem** - Betreuer: O. Günlü, Dr. Geiger
Reliability Analysis for Secret-key Binding for Physical Identifiers

02.09.2016 **Rami Ezzine** - Betreuer: L. Palzer
Lossy Source Coding Performance of One-Bit Compressive Sensing

02.09.2016 **Aya Ben Salha** - Betreuer: P. Schulte, Dr. Geiger
Markov Melody Generator

16.09.2016 **Amine M'Charak** - Betreuer: L. Palzer
Clustering Algorithms for Lossy Data Compression

18.12.2014 **Diego Lentner** - Betreuer: T. Fehnberger
Blind Mutual Information Estimation Techniques

LÜT

05.02.2015 **Michael Kobschütz** - Betreuer: Prof. Hanik
Development of a Demonstration Program for Analog and Digital
Amplitude Modulation based on GnuRadio

12.04.2015 **Lukas Baumbauer** - Betreuer: T. Fehnberger
Phase Noise and its Memory in Fiber-optic WDM Systems

16.07.2015 **Torsten Ohlenforst** - Betreuer: T. Fehnberger, H. Scholz, C.
Muschelknautz (beide Bayerischer Rundfunk)
Generierung eines AES67 Audiostreams aus Audiokanälen auf einer
Embedded Plattform

13.04.2016 **Tobit Klug** - Betreuer: E. Oberleithner
Modelling and Mitigation of Impulsive Noise in PLC Transmission System

28.07.2016 **Tim Heinlein** - Betreuer: T. Kernetzky
Development of a Powerline Communication PHY Layer and Channel
Simulator

30.09.2016 **Robert Markl** - Betreuer: T. Kernetzky
Development of an OFDM Physical Layer on a Zynq FPGA

LNT

4.4 Forschungspraxis und MSCE Internships

14.01.2015 **Bilal Hammoud** - Betreuer: A. Nedelcu
Frequency Domain Adaptive Filtering with Applications to GNSS Receivers

26.01.2015 **Tobias Schneider** (jetzt: Prinz) - Betreuer: H. Bartz
Distributed Reed-Solomon and Gabidulin Codes



12.04.2015 **Mu He** - Betreuer: Prof. Kramer, Dr. Pauli (NOMOR Research)
Link Adaptation Improvement for B4G (MSCE)

31.05.2015 **Onur Ayan** - Betreuer: A. Nedelcu, S. Bayer, P. Eberl (beide R&S)
Automated Test and Software Processes for Radio Controllers

31.05.2015 **Atif Javed** - Betreuer: A. Nedelcu, L. Förster (Telefonica Germany)
GSM and 3G CCS7 Signaling and Roaming Platforms

31.05.2015 **Yuchen Wu** - Betreuer: Dr. Geiger
Belief Propagation Strategies for Sudoku Codes

16.11.2015 **Dinesh Manobar Gandhinathan** - Betreuer: Dr. Geiger
Maximally Redundant Communication Channels (MSCE)

09.12.2015 **Yunhong Ju** - Betreuer: O. Günlü
Model Selection for Real Data (MSCE)

09.12.2015 **Houda Bannour** - Betreuer: A. Nedelcu, A. Elefsiniotis, S. Hahn (beide Airbus Group)
Shielded Twisted Single Pair Cable Approximated Characterization

15.03.2016 **Edvarts Berzs** - Betreuer: S. Dierks, F. Schlembach (R&S)
Waveforms for Air Interface of 5G

15.04.2016 **Delcho Donev** - Betreuer: Dr. Böcherer, Dr. Liva (DLR)
Constellation Shaping for Satellite Communication

15.04.2016 **Julian Renner** - Betreuer: Dr. Böcherer, T. Fehnberger
High-dimensional Probabilistic Shaping for Optical Communication Systems

07.06.2016 **Hussein Hammoud** - Betreuer: L. Palzer
Lossy Compression of the Bernoulli-Gaussian Spike Source in the Finite Blocklength Regime

01.07.2016 **Lukas Holzbaur** - Betreuer: H. Bartz, Dr. Sidorenko
Error-trapping for the Operator Channel

09.08.2016 **Diego Lentner** - Betreuer: Dr. Böcherer, Dr. İşcan, Dr. Xu (beide Huawei)
Rate Adaptation Schemes for Polar Codes

02.09.2016 **Michael Wedrat** - Betreuer: Dr. Böcherer
Ordered Statistics Decoding

LÜT

30.04.2015 **Erich Heimerl** - Betreuer: T. Fehnberger, S. Greef (Fa. Lantiq)
DSL Firmware Development and Verification

04.09.2015 **Andreas Lang** - Betreuer: T. Fehnberger
Implementing the Split-Step Fourier Method

4.5 Ingenieurspraxis

LNT

12.01.2015 **Susanne Bernhofer** - Betreuer: Prof. Kramer, W. Fengfei (Fa. Hepa Wash GmbH)
Usability Engineering - Entwicklung eines Prozesses zur Analyse der Nutzungsanforderungen



12.01.2015 **Eghbal Darius Alexander Ketabchi** - Betreuer: Prof. Kramer,
M. Schönberger (Fa. TERACUE AG)
Technischer Support und Kundenservice im Bereich IPTV und
Durchführung von Produkttests mit Dokumentation

13.04.2015 **Michael Koller** - Betreuer: Prof. Kramer, Fa. R&S
Integration von Referenzkurven in eine Messung eines Broadcast Signal
Analyzers

05.05.2015 **Tamara Fiedler** - Betreuer: Prof. Kramer, H. Clemens
(Fa. BSH Bosch u. Siemens Hausgeräte GmbH)
Planung und Umsetzung von innovativen AR-Apps für alle BSH-Marken

05.05.2015 **Martina Kiechle** - Betreuer: Prof. Kramer, C. Riedelbauch
(Siemens AG)
Entwicklung eines Kapazitätsplanungstools und Erstellung einer SharePoint
2013 ShowCase Plattform

05.05.2015 **Ömer Tan** - Betreuer: Prof. Kramer, E. Zerlach (BMW Group
München)
Zusammenstellen einer Messtechnikapplikation aus Standard HW/SW-
Komponenten

27.05.2015 **Alexander Jesipow** - Betreuer: Prof. Kramer, O. Gonschorekt
(Fa. ARRI)
Sensoranalyse anhand ALEV II und ALEV III

06.07.2015 **Ulrich Patrick Sandoval** - Betreuer: G. Kramer, H Lippmann
(Infineon Technologies)
Weiterentwicklung des Netzwerkanalysetools (NAT) mit Schwerpunkt auf
Testfälle

27.10.2015 **Muhammed Efe** - Betreuer: Prof. Kramer, A. Amjad,
M. Stinner
Improving Lab Experiment for Pulse Coded Modulation

27.10.2015 **Mohamed Salah Ben Slimen** - Betreuer: A. Nedelcu
SDR-Digital Modulation Real Time Receiver in Simulink

16.11.2015 **Simon Heine** - Betreuer: Prof. Kramer, Fa. R&S
Softwareentwicklung für Hochfrequenz- und Taktische Funkgeräte

07.01.2016 **David Ginthör** - Betreuer: M. Stinner
An Alternative CMS for LNTwww

07.01.2016 **Tobias Hirschmann** - Betreuer: Prof. Kramer, Fa. Infineon
Technologies
Development of Success Measures for Special-purpose Order Re-promising

27.01.2016 **Andrea Nicholas Beretta** - Betreuer: Prof. Kramer,
Fa. Telemotive AG
Unterstützung des Teams Testmanagement im Bereich Automotive

29.01.2016 **Mohamed Chennoufi** - Betreuer: P. Schulte
WIKI zur Evaluierung der Leistungsfähigkeit moderner Codes

20.04.2016 **Dominik Fienko** - Betreuer: Prof. Kramer, Fa. Fujitsu
Technology Solutions
Integration der BS2000 SE Serie in das Enterprise System Management



- 20.04.2016 **Burak Tas** - Betreuer: Prof. Kramer, Fa.Telemotive
Analog- und Digital-Radio: Konzeption und Automatisierung von
Testspezifikationen
- 07.06.2016 **Amine Limem** - Betreuer: Prof. Kramer, A. Baumann (SYXOS
GmbH)
Mail Tracking Project
- 01.07.2016 **Matthias Engelhard** - Betreuer: Prof. Kramer, Dr. Kelbeck
(Continental Automotive GmbH)
Erstellen von Spezifikationen und Testplänen sowie Dokumentation für
Skriptprogramme
- LÜT**
- 20.10.2014 **Sebastian Requena-Witzig** - Betreuer: Prof. Hanik, Fa.
Fraunhofer ESK
Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen basierend auf Car2X-Daten
- 10.11.2014 **Daniel Klimsa** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Blume (Siemens AG)
Integrated Spare Part Identification and Ordering
- 18.01.2015 **Shu Liu** - Betreuer: Prof. Hanik, R. Kuhn (Infineon Technologies)
Aufbau eines Evaluationsboards mit Vermessung durch einen Multiport-
Netzwerk-Analyser
- 18.01.2015 **Linus Reitmayr** - Betreuer: Prof. Hanik, Fa. BRAIN
Testmanagement FDDB
- 11.05.2015 **Christian Lenk** - Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Heni (Fa. Silver
Atena Electronic Systems Engineering GmbH)
Erstellung einer Simulationsumgebung für eine UAV (Unmanned Air
Vehicle)
- 31.07.2015 **Michael Hani** - Betreuer: Prof. Hanik, E. Oberleithner
Characterisation of In-Car Powerline Communication Channels and
Evaluation of Noise Optimized Coupling Methods
- 23.11.2015 **Tim Heinlein** - Betreuer: Prof. Hanik, T. Rösner (R&S)
Datentest für Communication Tester
- 23.11.2015 **Jonas Zucker** - Betreuer: Prof. Hanik, S. Löffler (Fa.
IPETRONIK Eichstätt GmbH)
Kalibrierung/Justage der Ipetronik internen Datenerfassungsmodulen
- 11.01.2016 **Christian Bogner** - Betreuer: Prof. Hanik, Fa. Intel Deutschland
Labor-Support und Hot-Spot-Kalibrierung gem. ISO9001
- 13.01.2016 **Ahmet Burakhan Koyuncu** - Betreuer: Prof. Hanik, T. Hopfner
(MVTec Software GmbH)
Aufbau eines Hardware-Testers für Bildeinzugs- und IO-Geräte
- 15.01.2016 **Lei Zhang** - Betreuer: Prof. Hanik, S. Quicel (Vodafone GmbH,
München)
Optimierung und Qualitätssicherung des Vodafone GSM-, UMTS- und LTE-
Mobilfunknetzes
- 08.07.2016 **Jonathan Roth** - Betreuer: Prof. Hanik, Fa. Rohde & Schwarz
Referenz-PLL mit umschaltbarer Zeitkonstante

5

Promotionen

5.1 Abgeschlossene Promotionsverfahren

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

In the period 10/2014–12/2016, several members of LNT and LÜT completed their Dr. Ing. dissertations. Prof. Kramer was the doctoral advisor of O. İşcan, M. Heindlmaier, J. Brauchle, M. El Hefnawy and M. Stinner. Two doctoral candidates from LÜT – S. Hellerbrand and Y. Chen – were supervised by Prof. Hanik. In the following you can find the abstracts of the dissertations and biographies of our new doctors.

The current count of all completed Dr. Ing. dissertations at LNT, LÜT, and their predecessor institutes going back to 1906, is 220.

Finally, Prof. Kramer and Prof. Hanik thank their colleagues Polina Bayvel, Stephan ten Brink, Giuseppe Caire, Frank Kschischang, Michael Lentmaier, Petar Popovski, Werner Rosenkranz and Chi-Chun Wang for serving as co-examiners. The reputation of these outstanding scientists puts a stamp of quality on the dissertations.

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

- Dr. Onurcan İşcan (S. 38),
- Dr. Michael Heindlmaier (S. 39),
- Dr. Joschi Brauchle (S. 40),
- Dr. Marwa El Hefnawy (S. 41),
- Dr. Markus Stinner (S. 42),

Die Seitenzahlen beziehen sich auf die Kurzbeschreibungen der Dissertationen in diesem Heft. Ab S. 44

folgen noch Curricula vitae unserer Doktoranden.

Marwa war seit Ende des Masterstudiums an der Universität Ulm (2011) als Doktorandin bei den *DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH* in München tätig. Gerhard Kramer war von Beginn an der fachliche Betreuer dieser Promotion. Die Doktoranden Onurcan, Michael, Joschi und Markus waren alle seit ihrem Studienende wissenschaftliche Mitarbeiter am LNT, auch noch zum Zeitpunkt ihrer mündlichen Prüfung.

Professor Norbert Hanik war seit Oktober 2014 zweimal Erstgutachter eines Promotionsverfahrens unserer Fakultät:

- Dr. Stephan Hellerbrand,
- Dr. Yingkan Chen (S. 43).

Stephan und Yingkan waren langezeit LÜT-Mitarbeiter, zum Zeitpunkt ihrer Promotion aber schon ausgeschieden. Stephan's Dissertation wurde bereits im Tätigkeitsbericht 2012–2014 (auf S. 43) beschrieben. Yingkan ist aufgeführt, obwohl sein Promotionsverfahren erst nach dem 30.09.2016 abgeschlossen wurde.

Seit Oktober 2014 hat sich die Anzahl der vom LNT und seinen Vorgängerinstitutionen insgesamt betreuten Doktoranden (seit 1906) von 214 auf 220 erhöht. Gerhard Kramer war seit seinem Amtsantritt im Jahr 2010 Erstgutachter bei zehn Promotionsverfahren. Norbert Hanik hat seit 2004 zehn Doktorarbeiten betreut.

5.1 Abgeschlossene Promotionsverfahren

- Dissertation İşcan
- Dissertation Heindlmaier
- Dissertation Brauchle
- Dissertation Hefnawy
- Dissertation Stinner
- Dissertation Chen

5.2 Curricula Vitae unserer Doktoranden

5.3 Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung

5.4 Vorträge im Doktorandenseminar

5.5 Doktorhutgalerie

Dr.-Ing. Onurcan İşcan

Design of Communication Systems for Two-Way Relaying

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

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

2. Berichter: Prof. Petar Popovski, Ph.D. (Aalborg University)

Tag der mündlichen Prüfung: 11.12.2014

Die Nachfrage nach höheren Datenraten erhöht den Bedarf für effizientere Kommunikationssysteme. Vor allem in der drahtlosen Kommunikation sind die Ressourcen wertvoll und die Gestaltung effizienter Systeme ist von großer Bedeutung. Wegen dieser Herausforderung haben Forscher eine Vielzahl von Lösungen für neue Kommunikationsstandards entwickelt. Zum Beispiel wurden in dem aktuell neuesten Standard *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-A) Relais-Knoten eingeführt, die im Grunde kleine Basisstationen sind, welche mit geringer Leistung betrieben werden und dazu beitragen, dass sowohl die Reichweite als auch der Durchsatz des Systems verbessert werden.

Obwohl die theoretischen Untersuchungen von Relais-Systemen bereits in den 1970er Jahren begonnen haben, hat es über 40 Jahre gedauert, bis Relaisknoten in den modernen Standards verwendet werden. Insbesondere etwa ab dem Jahr 2000, nachdem Netzwerkkodierung ein aktives Forschungsgebiet geworden ist, wurde das Interesse am so genannten Relaiskanal und seinen Erweiterungen in der Forschungsgemeinschaft erhöht.

In dieser Arbeit untersuchen wir mit dem Zweiwege-Relaiskanal (*Two-way Relay Channel, TWRC*) eine Erweiterung des herkömmlichen Relaiskanals. Ein TWRC beschreibt eine bidirektionale Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern, in dem ein dritter Knoten, der Relaisknoten, den Benutzern hilft, ihre Nachrichten gegenseitig zu übermitteln. Zum Beispiel bilden zwei mobile Benutzer, die über eine gemeinsame Basisstation kommunizieren, oder zwei geografisch getrennte Bodenstationen, die ihre Nachrichten über

einen Satelliten austauschen, einen solchen TWRC.

Als kleines Netzwerk eignet sich der TWRC sehr gut, um verschiedene Relaisysteme sowie Netzwerkcodierungskonzepte zu studieren. Darüber hinaus beinhaltet der TWRC als Komponenten einen Kanal für Broadcast (BC) und einen weiteren für Vielfachzugriff (*Multiple Access, MAC*) und stellt komplizierte Probleme zur Fehlerkorrektur für den BC, für den gemeinsamen Netzwerkcode sowie für die Codierung mit Seiteninformation bereit.

Ausgangspunkt dieser Arbeit war das Forschungsprojekt NEXT (Network Coding Satellite Experiment), in dem ein Zwei-Wege-Satelliten-Kommunikationssystem entworfen und implementiert wurde. Einige der in dieser Dissertation vorgestellten Ergebnisse wurden während des dreijährigen NEXT-Projekts entwickelt. Die anderen Ergebnisse sind natürliche Erweiterungen des Systems auf verschiedene Konfigurationen.

Die Dissertation wurde 2015 in der Reihe „Informationstechnik“ im Verlag Dr. Hut veröffentlicht. ISBN:978-3-8439-1961-6.

The demand for higher data rates drives the need for more sophisticated communication systems. Especially in wireless communications, resources are scarce and designing efficient systems is of great importance. This challenge made communication system designers develop a variety of solutions for new communication standards. For instance, in *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-A) relay nodes were introduced which are basically small base stations that operate at low power and help to enhance coverage and increase throughput.

Although the theoretical investigation of relaying began in the 1970s, it took about 40 years for that research to reach modern standards. Especially after network coding became an active research topic in 2000 the interest in the relay channel and its extensions increased in the research community.

In this thesis we investigate an extension of the traditional relay channel, namely the two-way relay channel (TWRC). A TWRC describes a bidirectional communication between two users where a third node, the relay node, helps the users to convey their messages to each other. For example, two mobile users communicating via a base station or two geographically separated earth stations exchanging messages over a satellite form a TWRC.

As a small network, the TWRC is a good example to study different relaying schemes, as well as network coding concepts. Moreover, the TWRC has as components a broadcast (BC) and a multiple access (MAC) channel and incorporates challenging problems in coding for the BC and MAC, including joint network-channel codes and coding with side information.

The starting point of this thesis was the research project NEXT, where a two-way satellite communication system was designed and implemented from scratch. Some of the results presented in this work were obtained during the three year period of this project. The other results are natural extensions of the system to different setups focusing on theoretical aspects rather than implementation issues.

This thesis was published in 2015 by Dr. Hut Verlag, München, in the series ‘Informationstechnik’.

Network Coding for Two-Way Relay Channels and Broadcast Erasure Channels with Feedback

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

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

2. Berichter: Univ.-Prof. Giuseppe Caire, Ph.D. (TU Berlin)

3. Berichter: Prof. Chih-Chun Wang, Ph.D. (Purdue University)

Tag der mündlichen Prüfung: 26.10.2015



Die Arbeit behandelt zwei verwandte Themen aus dem Bereich der Mehrbenutzer-Kommunikationssysteme, nämlich den Zwei-Wege Relais-Kanal sowie den Broadcast-Auslöschungskanal mit Rückkopplung und gedächtnisbehafteten Kanälen.

Für das erste Szenario werden Strategien untersucht, die auf Quantisierung am Relais basieren. Vorgeschlagen wird ein neues suboptimales Codierverfahren, das den Decodieralgorithmus am Empfänger vereinfacht und bei symmetrischen Kanalbedingungen nahezu optimal ist. Für das vorgeschlagene und weiterer solcher Codierverfahren wird die Abhängigkeit der erreichbaren Datenraten von der Wahl des Quantisierers analysiert. Daraus ergeben sich Algorithmen für den Entwurf geeigneter praxisrelevanter Quantisierer beim Relais. Diese Algorithmen haben Ähnlichkeit mit dem klassischen Blahut-Arimoto-Algorithmus und lassen sich sowohl für Vektorquantisierer als auch für skalare Quantisierer anwenden.

Die verschiedenen Codierverfahren erfordern unterschiedliche iterative Decodieralgorithmen. Die Verfahren werden mittels eines Gesamt-Faktorgraphen auf praktische Codes abgebildet und die entsprechenden Berechnungsvorschriften für den iterativen Decoder hergeleitet. Zuletzt werden die unterschiedlichen Verfahren in numerischen Simulationen miteinander verglichen.

Der zweite Teil der Arbeit untersucht die Kapazitätsregion des Zwei-Benutzer Broadcast-Auslöschungskanals mit Rückkopplung und Kanalgedächtnis. Das Kanalgedächtnis wird mit Hilfe von Markov-Ketten modelliert.

Für dieses Szenario werden äußere Schranken für die Kapazitätsre-

gion hergeleitet. Diese können von praktischen Codierverfahren erreicht werden und beschreiben somit die Kapazitätsregion. Dabei zeigt sich, dass bei gedächtnislosen Kanälen die Kapazitätsregion durch Rückkopplung signifikant vergrößert wird.

Die optimalen Codierverfahren können mit vernetzten Warteschlangen modelliert werden. Dieses Modell wird auch verwendet, um heuristische Verfahren mit geringer Komplexität herzuleiten.

Die Dissertation ist 2015 im Verlag Dr. Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erschienen. ISBN: 978-3-8439-2391-0.

The thesis addresses two multi-user communication scenarios that share common ground: The Two-Way Relay Channel and the Broadcast Packet Erasure Channel with feedback and channel memory.

For the first scenario, we focus on *Quantize-and-Forward* strategies. We propose a novel suboptimal coding scheme that simplifies decoding at the receivers and that is close to optimal for symmetric channel conditions. The achievable rates for the proposed and other coding schemes depend on the choice of the quantizer at the relay. We analyze this dependency and design algorithms to optimally choose the quantizer for both vector and scalar quantizers. These algorithms have a similar structure as the classic Blahut-Arimoto Algorithm.

The various coding schemes require different iterative decoding algorithms. We design practical codes and iterative message passing decoding with an overall system factor graph. The special structure of the factor graph requires novel message passing rules. The different schemes

are implemented and evaluated in numerical simulations.

The second part deals with the *Two-Receiver Broadcast Packet Erasure Channel* with feedback and channel memory. The channel memory is modeled with a finite-state Markov chain representing a channel state.

The capacity region of this channel without memory shows that feedback can increase the rate regions significantly. However, many practical communication systems have bursty packet losses. Feedback enables the transmitter to predict packet losses in the upcoming transmissions and to improve the overall performance.

We distinguish if the transmitter has access only to the acknowledgements of the receivers, or if it can additionally observe the channel state strictly causally. We derive outer bounds on the capacity region for both cases. The outer bounds can be achieved and hence describe the capacity region. The coding schemes can be modelled with a system of networked queues. Queueing analysis methods such as max-weight back-pressure scheduling and Lyapunov drift theory are used to analyze the setup and to establish the capacity result.

The optimal algorithms require large worst-case queue sizes. Based on the optimal coding scheme, we design suboptimal heuristic coding mechanisms with guaranteed worst-case queue size and low complexity. We observe that these algorithms perform almost as well as the optimal schemes.

This thesis was published in 2015 by Dr. Hut Verlag, Munich, in the series “Informationstechnik”. ISBN: 978-3-8439-2391-0.

Algebraic Decoding of Reed-Solomon and Related Codes

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll

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

2. Berichter: Prof. Frank R. Kschischang, Ph.D. (University of Toronto)

Tag der mündlichen Prüfung: 09.12.2015

Die Arbeit behandelt zwei Themen aus der algebraischen Codierungstheorie. Im ersten Teil wird die multivariate interpolationsbasierte Listen-Decodierung (MID) von Reed-Solomon (RS) und verwandten Fehlerkorrekturverfahren untersucht. Zu den betrachteten Fehlerkorrekturverfahren zählen verallgemeinerte und verschachtelte RS-Codes, Parvaresh-Vardy-Codes und die davon abgeleiteten gefalteten RS-Codes, welche allesamt eine Listen-Decodierung jenseits ihrer halben Mindestdistanz erlauben. Es werden die Struktur und Eigenschaften sowie insbesondere die Gemeinsamkeiten der genannten Verfahren erläutert und diese in eine universelle Darstellung überführt.

Anschließend wird die linear-algebraische MID vorgestellt, die vollständig durch lineare Gleichungssysteme beschrieben und gelöst werden kann. Die Anzahl der korrigierbaren Fehler (Decodierradius) wird sowohl für die universelle Darstellung als auch für die einzelnen Verfahren hergeleitet. Für die Berechnungskomplexität der MID ist die Größe des Lösungsraums (Listengröße) maßgeblich. Es wird gezeigt, dass sich die Listengröße und deren Verteilung über die Gewichtsfunktion von RS-Codes bestimmen und abschätzen lassen. Decodierradius, Fehler- und Ausfallwahrscheinlichkeit sowie Komplexität des MID-Verfahrens werden theoretisch beschrieben und durch Computersimulationen bestätigt.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Generalized-Minimum-Distance (GMD) Decodierung. Hierbei wird Zuverlässigkeitinformation über die Empfangssequenzsymbole, die in algebraischen Fehlerkorrekturverfahren oft verworfen wird, durch das gezielte Einbringen von Auslöschungen und die mehrfa-

che Anwendung eines Decodieralgorithmus nutzbar gemacht. Verschiedene Strategien zur Einbringung der Auslöschungen werden vorgestellt und die jeweils optimale Anzahl und Verteilung der Auslöschungen im Empfangswort hergeleitet.

Die Anzahl der benötigten Decodierversuche, um einen bestimmten Anteil von Fehlern im Empfangswort zu korrigieren, ist von großem praktischem als auch theoretischem Interesse. Der Zusammenhang zwischen dieser Anzahl, der angewandten GMD-Strategie sowie dem sogenannten Fehler-zu-Auslöschungsverhältnis des verwendeten Decoders wird dargelegt. Es zeigt sich, dass insbesondere die MID-Verfahren mit niedrigem Fehler-zu-Auslöschungsverhältnis aus dem ersten Teil der Arbeit in Hinblick auf die GMD-Decodierung positive Eigenschaften besitzen und bereits nach einer geringen Anzahl von Versuchen den maximalen Decodierradius erreichen.

This thesis addresses two topics of algebraic coding theory. The first part of the work studies multivariate interpolation-based list-decoding (MID) of Reed-Solomon (RS) and related codes. We consider generalized and interleaved generalized RS codes, Parvaresh-Vardy codes and two versions of folded RS codes that are all decodable beyond half their minimum distance using list-decoding. The construction and properties of the aforementioned codes are presented and embedded into a universal code description. Linear-algebraic MID is introduced, which is described and solved by linear systems of equations.

The number of correctable errors, or decoding radius, of MID is derived in a general form for the uni-

versal code construction and specified explicitly for the codes under consideration. The size of the solution space, i.e., the output list size, is the main contributor to the computational complexity of linear-algebraic MID. We relate the size to the weight enumerator function of RS codes and use this relationship to quantify and bound its value. Numerical and simulation results on the codeword error rate, probability of decoding failure and the complexity of linear-algebraic MID are presented.

The second part of this thesis studies generalized minimum distance (GMD) decoding, which allows to make use of reliability information on the received symbols by applying an algebraic error-erasure decoder in a multi-trial manner. An algebraic decoder can correct more erasures than errors, where the ratio between these numbers is called the error-erasure tradeoff of the decoder. In each decoding trial, a certain number of low reliability symbols are erased and the modality of erasing these symbols is of critical importance for the success of the decoding procedure. We investigate different erasing strategies based on either erasing a fraction of the symbols or erasing all symbols below a certain reliability threshold, and these strategies may be either static or adapt to the received sequence. The optimal fraction or threshold and the position of the erasures is determined, and the maximum achievable decoding radius after a certain number of decoding trials is derived for all considered strategies. It is shown that the number of trials is reduced significantly for decoders of low error-erasure tradeoff, which is especially the case for interpolation-based list-decoding considered in the first part of the work.

Spectral Efficiency and Spectral Shaping of Faster-than-Nyquist Signals

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Diepold

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

2. Berichter: Univ.- Prof. Dr.-Ing. Stephan ten Brink (Universität Stuttgart)



Tag der mündlichen Prüfung: 11.12.2015

Die Arbeit untersucht Eigenschaften der sog. *Faster-than-Nyquist* (FTN) Signalisierung. Dieses nicht orthogonale Übertragungsverfahren könnte für zukünftige Übertragungssysteme von Interesse sein. FTN erhöht die Datenrate gegenüber dem Nyquistkriterium. Dadurch kommt es beim Sender zu Intersymbolinterferenzen (ISI), die durch geeignete Maßnahmen am Empfänger bekämpft werden müssen. Interessant ist dieses Verfahren für Anwendungen, die Kosten beim Sender einsparen sollen und wenn eine adaptive Datenanpassung erwünscht ist.

In der Arbeit werden Kapazitätsberechnungen für FTN-Anwendungen präsentiert, wobei von Interferenzen in benachbarten Frequenzbändern ausgegangen wird. Beim *Multi Access Channel* (MAC) ergibt sich die maximale spektrale Effizienz für den sinc-Impuls. Dieser ist ein Sonderfall des *Root Raised Cosine* (RRC) Impulses mit dem Rolloff-Faktor 0.

Bei niedrigem S/N-Verhältnis wird die spektrale Effizienz durch FTN weder verbessert noch verschlechtert. Bei großem SNR sollten dagegen Impulsinterferenzen möglichst vermieden werden.

Im letzten Teil der Arbeit wird untersucht, ob und mit welchem Aufwand man bei FTN-Signalisierung die Datenrate durch *Spectral Shaping* erhöhen kann. Der bestmögliche Spektralformer hinsichtlich Informationsrate hängt davon ab, ob man als Nebenbedingung die Eingangsleistung des Shapers begrenzt oder die Ausgangsleistung. Beide Varianten werden behandelt.

Durch Simulation wurde gezeigt, dass sich der maximale Durchsatz für eine Konfiguration mit Adaptiver Modulation, Codierung und FTN (AMCF) ergibt. Der Durchsatz ist

größer als bei AMC-OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*).

Die Dissertation erschien 2016 im Verlag Dr. Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“. ISBN: 978-3-8439-2492-4.

Although LTE and LTE-Advanced can accommodate the rapid increase of wireless user access for some years, demand to increase the system capacity continues to grow dramatically. The total traffic of wireless access is expected to increase beyond 500-fold in 2020 as compared to 2010. Considering the increasing use of smart phones and tablets, further development of new radio access techniques is indispensable to enhance the system capacity as well as user data rate for future mobile communication systems beyond LTE-Advanced.

For mobile radio systems, the transmission signal waveform and multiple access methods are representative core techniques. To improve system performance, non-orthogonal transmission schemes are being considered that may improve power spectral efficiency as compared to orthogonal transmission.

In this work, we studied Faster-than-Nyquist (FTN) signaling which is a non-orthogonal transmission scheme. FTN increases the data rate by sampling faster than the Nyquist intersymbol interference (ISI) criterion rate. In this way, an intentional ISI is induced at the transmitter and is combated at the receiver. FTN may be interesting for applications that need low cost transmitters and flexible rate adaptation.

Capacity computations were presented for FTN signaling in the presence of interference from neighbor-

ing frequency bands. It was shown that sinc pulses maximize the spectral efficiency for a multi-access channel, where spectral efficiency is defined as the sum rate in bits per second per Hertz. Comparisons using *Root Raised Cosine* (RRC) pulses showed that the spectral efficiency decreases monotonically with the roll-off factor. FTN neither improves nor degrades the spectral efficiency at low SNR. At high SNR, it is best to avoid interference. Also at high SNR, the RRC pulses have an additive gap to capacity that increases monotonically with the roll-off factor.

Spectral shaping is applied to FTN signaling to improve information rates. Under a transmit power constraint, the best shape is an inverse filter but for RRC pulses this requires infinite power at the shaper input. Both input and output power constraints at the shaper were thus proposed as a solution to maximize the information rate while still guaranteeing practicality.

An FTN-OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) system is developed that implements spectral shaping and treats the ISI generated by the FTN efficiently. The shape of the effective channel in the frequency domain that resulted from this ISI differs according to the FTN rate.

The performance of the FTN-OFDM system was evaluated through simulations. To achieve a maximized system throughput, we proposed using Adaptive Modulation, Coding and FTN (AMCF) which achieves higher normalized throughput than AMC-OFDM.

This thesis was published in 2016 by Dr. Hut Verlag in the series “Informationstechnik”. ISBN: 978-3-8439-2492-4.

Dr.-Ing. Markus Stinner

Analysis of Spatially Coupled LDPC Codes on the Binary Erasure Channel

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll

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

2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Michael Lentmaier (Lund University, Sweden)

Tag der mündlichen Prüfung: 01.09.2016

Die Arbeit analysiert das Verhalten endlich langer *Spatially Coupled Low-Density Parity-Check* (SC-LDPC) Codes, basierend auf Protographen. Da viele Konstruktionen *Thresholds* nahe der Kapazität und gleichzeitig niedrige *Error Floors* zeigen, übertrifft keines im asymptotischen Bereich die anderen. Abhängig von der Anwendung sind jedoch weitere Kriterien zu betrachten, wie zum Beispiel die Korrekturleistung bei *Window Decoding*, die Robustheit bei *Puncturing* sowie die Korrekturleistung in der Waterfall-Region für kurze bis mittlere Blocklängen.

Für die Analyse wird oft *Peeling Decoding* (PD) angewendet. Es wurde zwar gezeigt, dass verschiedene iterative Decodierer dasselbe Resultat erreichen, nicht bekannt ist aber, welche Decodierer verglichen wurden. Auch nicht klar ist, ob das Verhalten von PD und *Belief Propagation* (BP) während des Decodierens identisch ist.

In der Dissertation wird die Äquivalenz von PD und BP für LDPC-Codes untersucht, wobei vom *Binary Erasure Channel* (BEC) ausgegangen wird. Durch ein modifiziertes Scheduling für PD wird gezeigt, dass PD in jeder Iteration exakt gleiche *Variable Nodes* (VNs) wie BP löst.

Anschließend wird der Decodervorgang als stochastischer Prozess modelliert, um Prognosen für die Korrekturleistung in der *Waterfall Region* zu erhalten. Basierend auf dem Protographen, der das jeweilige Ensemble des SC-LDPC-Codes generiert, charakterisieren Scaling-Parameter das Verhalten für endliche Längen in der Waterfall-Region. Es wird gezeigt, dass die Korrekturleistung von strukturierten SC-LDPC-Codes einem *Scaling Law* ähnlich dem weni-

ger strukturierter, vielmehr zufällig konstruierter SC-LDPC-Codes folgt.

Relevante SC-LDPC-Protograph-Strukturen werden verglichen. Es zeigen sich signifikante Unterschiede in ihrem Finite-Length Scaling-Verhalten, was mit Simulationsergebnissen belegt wird. In der Waterfall-Region schlagen *Spatially Coupled Repeat-Accumulate Codes* andere Strukturen gleicher Rate und besseren asymptotischen Thresholds.

Abschließend wird anstelle der Anzahl lösbarer Gleichungen die Abnahme von gelöschten *Variable Nodes* während des Decodierprozesses untersucht. Diese messbare Größe kann auch mit *Density Evolution* mit deutlich reduzierter Komplexität berechnet werden. Schließlich wird ein *Scaling Law* für LDPC-Codes basierend auf dieser Größe vorgeschlagen und mit Simulationen verifiziert.

Die Dissertation wird in der Reihe „Informationstechnik“ im Verlag Dr. Hut veröffentlicht.

The finite-length performance of spatially coupled low-density parity-check (SC-LDPC) codes constructed from protographs is analyzed. Since many of these constructions show thresholds close to capacity and low error floors, no ensemble clearly outperforms the others from an asymptotic point of view. Depending on the application, other criteria are taken into account, e.g., the performance of sliding window decoding, robustness against puncturing to obtain high-rate codes, and the SC-LDPC performance in the waterfall region for short to moderate block lengths. These aspects remain open research problems.

For analysis, often peeling decoding (PD) is used. It is known that different iterative decoders obtain the

same result, but it was not stated which decoders were applied. It is also not clear if the behavior of PD and belief propagation (BP) during decoding is the same.

In this work, the equivalence of PD and BP for LDPC codes over the binary erasure channel (BEC) is examined. Modifying the scheduling for PD, it is shown that exactly the same variable nodes (VNs) are resolved in every iteration as with BP.

The decoding process is then modeled as a random stochastic process to obtain estimates for the error probability in the waterfall region. Given the protograph used to generate a SC-LDPC code ensemble, a set of scaling parameters is computed to characterize the average finite-length performance in the waterfall region. The error performance of structured SC-LDPC code ensembles is shown to follow a scaling law similar to that of unstructured randomly-constructed SC-LDPC codes.

Several SC-LDPC protograph structures are compared. The analysis reveals significant differences in their finite-length scaling behavior, which is corroborated by simulation. In the waterfall region, spatially-coupled repeat-accumulate codes outperform other SC-LDPC codes that have the same rate but better asymptotic thresholds.

The decrease in the number of erased VNs during the decoding process is analyzed instead of the number of resolvable equations. The former quantity can also be tracked with much less complexity using density evolution. Finally, a scaling law using this quantity is established for SC-LDPC codes.

This thesis will be published in the series „Informationstechnik“ by Dr. Hut Verlag, Munich.

Orthogonal Frequency-Division Multiplexing in Fiber-Optic Communication

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

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

2. Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Werner Rosenkranz (Universität Kiel)



Tag der mündlichen Prüfung: 28.09.2016

In dieser Dissertation werden unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten des Orthogonalen Frequenzmultiplexverfahrens (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*, OFDM) in optischen Übertragungsnetzen untersucht, und zwar theoretisch, mittels Computersimulation und experimentell. Anwendungsmöglichkeiten im optischen Zugangsnetz, in kohärent-optischen Polarisationsmultiplexsystemen (*Polarisation Division Multiplex*, PDM) für so genannte Weitverkehrssysteme sowie der Einsatz in neuartigen Mehrmodefasern (*Space-Division Multiplex*, SDM) werden ausführlich diskutiert.

Im optischen Zugangsnetz werden bei Datenraten von 40 Gbit/s im Downlink und 10 Gbit/s im Uplink, sowohl für Direktdetektion als auch für kohärente Detektion unterschiedliche Methoden zur zeitlichen Synchronisation, zur Kompensation der Trägerfrequenzabweichung zwischen unterschiedlichen Netzwerkeinheiten, und zur optimierten Signaldetection untersucht.

Ein mit Projektpartnern durchgeführtes Feldexperiment demonstriert abschließend die Einsatzfähigkeit derart optimierter optischer OFDM-Systeme in einem realen Zugangsnetz-Szenario im Raum Berlin mit 37,5 km Länge mit dynamischer Bandbreitenzuweisung.

Für kohärente PDM-OFDM-Weitverkehrssysteme wurden ebenfalls umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Hier wurden Algorithmen zur Kompensation unterschiedlicher degradierender Effekte (Abtastfrequenzversatz, Trägerfrequenz-Offset, Laser-Phasenrauschen, Fasernichtlinearität, lineare Kanalverzerrungen) theoretisch analysiert und mit Hilfe numerischer Simulation validiert.

Abschließend wurde das Einsatzpotential der OFDM-Übertragung in neuartigen Few-Mode-Fasern untersucht, die die gleichzeitige Nutzung mehrerer Ausbreitungsmoden erlauben. In einem Laborexperiment in Zusammenarbeit mit der Coriant GmbH, München, wurde im optischen C-Band mit zwölf Fasermoden eine Brutto-Datenrate von 41,6 Tbit/s über 74,17 km Few-Mode Faser übertragen.

Die Dissertation wird in der Reihe „Informationstechnik“ im Verlag Dr. Hut veröffentlicht.

Optical transmission using orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) was extensively studied in this work. Applications in optical access networks, long-haul coherent optical polarization-division multiplexing (PDM) systems, and coherent optical spatial-division multiplexing (SDM) systems have been discussed in the scope of the dissertation.

In order to meet the requirements of the growing demand in the broadband access network, the optical community has been looking for a solution for the next generation passive optical network (NGPON), which should provide 40 Gbit/s in the downlink and 10 Gbit/s in the uplink with lower operational and capital expenditure for carriers, and cost effective receivers for the subscriber. Among different modulation techniques, OFDM-PON is regarded as one of the candidates. In the first part of the dissertation, OFDM-PON is studied in detail.

In the downlink, supported power budgets of direct detection and coherent detection systems were investigated, considering fiber nonlinearity mitigation methods and optimized signal detection, e.g. by using coded

modulation. Comprehensive simulations illustrated the necessity of adopting coherent detection to support 1024 optical network units (ONUs) per feeder fiber.

In the uplink, critical problems such as uplink time synchronization, carrier frequency offset among ONUs and phase noise mitigation were investigated. DSP algorithms for the OFDM subcarrier recovery in the optical line terminal (OLT) were studied. With support from CAU-Kiel and T-Labs, a field transmission experiment was carried out in Berlin, successfully demonstrating a 37.5 km bidirectional urban OFDM access network using cost effective, laser-free, ONUs with dynamic bandwidth allocation and trellis coded modulation (TCM).

To address the coming “capacity crunch” due to the ever growing capacity demand, investigations into multimode-division multiplexing which enables the spatial dimension to be exploited were carried out with the support from Coriant R&D GmbH. Extensive research was conducted in developing DSP algorithms for compensating system distortions including sampling frequency offset, carrier frequency offset, laser phase noise, fiber nonlinearity, and the preamble-based MIMO channel equalization. The effectiveness of these methods was validated through numerical simulations. Finally a lab experiment of 41.6 Tbit/s SDM OFDM transmission (net data rate of 16.8 Tbit/s) over the full C-band through 12 spatial and polarization modes over 74.17 km few mode fiber was demonstrated to illustrate the feasibility of the developed system concept.

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

Dr.-Ing. Joschi Brauchle, 1982 in Bad Reichenhall geboren, studierte an der TU München von 2002 bis 2007 Elektrotechnik und Informationstechnik. Nach Abschluss des Vordiploms absolvierte er von 2005 bis 2006 ein einjähriges Masterstudium am Georgia Institute of Technology in Atlanta, Georgia, USA. In seiner Diplomarbeit am LNT beschäftigte er sich mit der Soft-Input-Decodierung von Reed-Solomon-Codes in verketteten Systemen und mit Soft-Output Listen-Decodierung von inneren Faltungscodes.

Nach Abschluss seiner Diplomarbeit war Joschi Brauchle von Ende 2007 bis Mitte 2015 wissenschaftlicher Assistent von Prof. Kötter und Prof. Kramer. Seine Forschungsarbeiten beschäftigten sich vorwiegend mit der algebraischen Codierungstheorie und hier insbesondere mit den Eigenschaften von bivariaten, interpolationsbasierten Decodierverfahren für Reed-Solomon-Codes sowie mit der Fehlerkorrekturleistung von mehrdimensionalen Verfahren bei verwandten Codekonstruktionen. Im Winter 2013 verbrachte er einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt an der University of Toronto, Kanada.

In der Lehre konzipierte und betreute Joschi Brauchle von 2008 bis 2013 die Übung für die Vorlesung *Channel Coding* im Masterstudien-gang, wofür ihm 2013 der von den Studierenden vergebene Dozenten-preis der Fachschaft für Elektro- und Informationstechnik verliehen wurde. Er betreute während seiner gesamten Assistentenzeit verschiedene studentische Arbeiten im Hauptseminar sowie im MSCE-Seminar und etliche Bachelor- und Masterarbei-



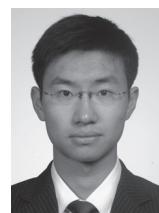
5.2 Curricula Vitae unserer Doktoranden

Joschi Brauchle, Yingkan Chen, Marwa El Hefnawy, Michael Heindlmaier, Onurcan İşcan, and Markus Stinner

ten. 2015 organisierte er das Hauptseminar.

Neben Forschung und Lehre war Joschi Brauchle von 2009 bis 2015 als Systemadministrator für Konzeption und Wartung des Computernetz- es und sämtlicher IT-Systeme am LNT mitverantwortlich. Zu seinen weiteren administrativen Aufgaben zählte die Verwaltung der Lehrstuhlbibliothek von 2008 bis 2013.

Dr.-Ing. Yingkan Chen wurde 1986 in Shanghai, China, geboren. 2009



schloss er den B.Sc. an der Tongji Universität in Shanghai ab, 2011 den M.Sc. an der TU München. Beide Studiengänge gehörten zum Bereich Elektro- und Informationstechnik mit dem Schwerpunkt Nachrichtentechnik.

Ende 2011 wurde Y. Chen wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT). Bis Juli 2013 bearbeitete er im Rahmen des BMBF-Projekts ATOB (*Architekturen, Technologien, Offene Netzinfrastruktur für das Optische Breitbandzugangsnetz*) die Optimierung des OFDMA-PON-Systems, DSP-Algorithmen zur Entzerrung des gestörten Signals sowie in Zusammenarbeit mit T-Labs, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Fraunhofer HHI und EICT die Feldmessung.

Von August 2013 bis Februar 2015 war Yingkan Gastforscher bei der Coriant R&D GmbH in München und beschäftigte sich in dieser Zeit im Rahmen des EU-FP7-Projekts *ModeGap*, Schwerpunkt „Optische Modemultiplexverfahren“ (MDM), mit dem Forschungsthema „Optisches Raummultiplexverfahren“. Dazu untersuchte er den Entwurf und die DSP-Algorithmen für das optische MDM-WDM-OFDM-System. Die Arbeit wurde durch ein Labor-experiment mit 41.6 Tb/s über das

gesamte C-Band erfolgreich zusammengefasst. Die Ergebnisse wurden im *Journal of Lightwave Technology* als eingeladener Beitrag veröffentlicht.

Yingkan Chen war über vier Jahre Übungsassistent für die Vorlesung *Optical Communication Systems*. Er betreute verschiedene studentische Arbeiten im Hauptseminar sowie im MSCE-Seminar und etliche Bachelor- und Masterarbeiten.

Am 01.09.2016 hat Dr. Chen bei der Coriant R&D GmbH in München eine Stelle im Bereich optische Übertragungssysteme angetreten.

Dr.-Ing. Marwa El Hefnawy was born in Cairo, Egypt. She studied



Electrical Engineering and Information Technology (Major: Communications Engineering) at the German University in Cairo (GUC) where she was awarded her bachelor's degree in 2009 with highest honor. In 2008, she did her bachelor thesis at the Institute of System Theory and Signal Processing at Stuttgart University. She proceeded with her graduate studies and was awarded a master's degree in Communications Engineering and Technology from Ulm University in 2011. During her master's studies, she had a student job at Nokia Siemens Networks concerning *Investigating and Analyzing Frequency Error Correction Methods for the LTE Uplink*.

After completing her master's studies, Marwa El Hefnawy joined DOCOMO Euro-Labs GmbH in Munich as a Dr. Ing. candidate in the wireless research group. Her research areas were new waveforms, modulation and coding techniques for 5G cellular communications with a focus on Faster-Than-Nyquist (FTN) signals. She participated in the EU-FP7 funding project METIS working on 5G radio access technologies.

In 2015, Marwa El Hefnawy received her doctoral degree from the Technical University of Munich (TUM) under the supervision of Prof. Gerhard Kramer.

Since February 2016, Dr. El Hefnawy is with Intel GmbH in Munich.

Dr.-Ing. Michael Heindlmaier, geboren 1983 in Altötting, studierte von



2003 bis 2008 Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München. Nach Abschluss der Bachelorarbeit absolvierte er den Masterstudiengang „Systeme der Informations- und Multimedia-technik“, der gemeinsam von der TU München und der FAU Erlangen angeboten wurde. Für ein Jahr war er an der Universität Nizza-Sophia Antipolis, mit dem Studienfokus auf Signalverarbeitung.

In seiner Masterarbeit am LNT beschäftigte er sich mit optimierten Schedulingverfahren für Multihop-Kommunikationsnetze. Von 2008 bis 2014 war Michael Heindlmaier wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Kötter und Prof. Kramer. Er befasste sich mit Inter-Session Network Coding, Relayingverfahren mit geringer Komplexität, optimierten Quantize-and-Forward Verfahren sowie mit Broadcast-Auslöschungskanälen mit Feedback und gedächtnisbehafteten Kanälen.

Im Herbst 2009 verbrachte er einen dreimonatigen Forschungsaufenthalt bei Prof. Muriel Médard am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, im Frühjahr 2013 war er als Gastwissenschaftler bei den Alcatel-Lucent Bell Labs in Murray Hill. Für seine Forschungsarbeiten wurde ihm 2013 die *Qualcomm Innovation Fellowship* verliehen.

In der Lehre betreute Michael Heindlmaier die Grundlagenvorlesung *Nachrichtentechnik 1*, sowohl an der TU München als auch an der TUM Asia in Singapur.

Zu seinen weiteren Aufgaben am LNT zählte 2009/2010 die Bearbeitung des EU-Projekts *Newcom++* und von 2012 bis 2014 in Kollabora-

tion mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Forschungsprojekt *Munich Aerospace*.

Seit April 2015 arbeitet Dr. Heindlmaier bei der Firma Cadami in München, die Software für die effiziente Auslieferung von Videoinhalten entwickelt. Er hat diesen Spin-Off mit zwei ehemaligen TUM-Kollegen mitgegründet.

Dr.-Ing. Onurcan İşcan was born in Istanbul in 1983. He received his



B.Sc. degree in Telecommunications Engineering from Istanbul Technical University in 2006 and his M.Sc. degree in Communications Engineering from TUM in 2008. In 2009 Onurcan joined the LNT where he worked as a research and teaching assistant for Prof. Kramer. During this time, he was responsible for the *Communications Laboratory* and the *Wireless Communications Laboratory*.

His main research direction was coding for relay networks, joint channel and network codes, and coding with side information. He also worked on the research project NEXT, where resource efficient communication systems based on network coding were designed and implemented for a satellite environment.

In 2014 he spent two months at the Institute for Telecommunications Research in Adelaide, South Australia, where he worked on different coding problems for broadcast channels with side information.

In April 2015, Dr. İşcan joined the *European Research Center of Huawei Technologies Düsseldorf GmbH* in Munich.

Dr.-Ing. Markus Stinner wurde 1986 in Ulm geboren. Er studierte an der



Universität Ulm von 2006 bis 2011 Elektrotechnik. Das Studium beinhaltete 2008 auch ein Auslandssemester an der University of Adelaide, Australien. In seiner Diplomarbeit am Institut für Telekommunikation



und Angewandte Informationstechnik befasste er sich mit *Partial Unit Memory Codes* basierend auf Gabidulin-Codes.

Von 2011 bis 2016 war M. Stinner wissenschaftlicher Assistent von Prof. Kramer am LNT. Sein Schwerpunkt lag dabei auf der Analyse von *Spatially Coupled Low-Density Parity-Check Codes* für endliche Längen.

Im Juni 2012 war er zu einem Forschungsaufenthalt an der ENSEA in Cergy-Pontoise nahe Paris, im November 2015 an der Universität Lund in Schweden und im April 2016 an der EPFL in Lausanne.

In der Lehre betreute Markus viele Jahre den *Basic Laboratory Course on Telecommunications* und seit 2014 die Übungen zur Vorlesung *Channel Codes for Iterative Decoding*. Zudem war er 2015 für die Vorlesung *Communications Technology 1* an der TUM Asia in Singapur zuständig. Weiterhin betreute er im Rahmen des *Hauptseminars Digitale Kommunikationssysteme* sowie des *Seminars on Topics in Communications Engineering* (für MSCE-Studierende) während der gesamten Amtszeit studentische Arbeiten.

Zu seinen weiteren Aufgaben am LNT zählte von 2011 bis 2012 die Bearbeitung des Projekts *CONE - Coding for Networks* in Zusammenarbeit mit Alcatel Lucent Bell Labs, in dem effiziente Channel Codes und Modulationen für kabellose Verbindungen wie Backhaul- und 5G-Systeme entwickelt und verglichen wurden. Seit 2015 organisiert Markus mit einem Studententeam die Modernisierung des Web-Designs unseres Lerntutorials *LNTwww*.

Nach Abschluss seiner Promotion im September 2016 ist Dr. Stinner noch für einen überschaubaren Zeitraum weiterhin am LNT tätig.



5.3 Weitere Promotionsverfahren mit Beteiligung von LNT-Professoren

Okt. 2014 **Youlong Wu**, Ph.D.

New Ways of Exploiting Feedback in Memoryless Broadcast Channels
Promotionsverfahren der Télécom ParisTech, France

Examiner: Prof. Dr. Michèle Wigger, Télécom ParisTech

Rapporteur: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer* u.a.

Dez. 2014 **Meryem Benamar**, Ph.D.

Interference Management in Broadcast Networks: Channel Uncertainty and
Security Constraints

Promotionsverfahren der Supélec, France

Examiner: Prof. Pablo Piantanida, Supélec

Rapporteur: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer* u.a.

März 2015 **Dr.-Ing. Giuliano Garrammone**

Non-Binary Codes with Applications to Satellite and Space
Communications

Promotionsverfahren der TU München

1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Erich Lutz, TU München

2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*, TU München

3. Berichter: Prof. Dr. Marco Chiani, Università di Bologna, Italy

Apr. 2015 **Rajet Krishnan**, Ph.D.

On the Impact of Phase Noise in Communication Systems – Performance
Analysis and Algorithms

Promotionsverfahren der Chalmers University, Sweden

1st Examiner: Prof. Dr. Thomas Eriksson, Chalmers University

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

Apr. 2015 **Martina Cardone**, Ph.D.

Cooperation Strategies for Next Generation Cellular Systems

Promotionsverfahren der Télécom ParisTech, France

1st Examiner: Prof. Dr. Raymond Knopp, Télécom ParisTech, Eurécom

2nd Examiner: Prof. Dr. Daniela Tuninetti, UIC, Illinois, USA

Rapporteur: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer* u.a.

Okt. 2015 **Chien-Yi Wang**, Ph.D.

Function Computation over Networks: Efficient Information Processing for
Cache and Sensor Applications

Promotionsverfahren der École Polytechnique Fédérale de Lausanne

1st Examiner: Prof. Dr. Michael Gastpar, EPFL

Expert: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer* u.a.

Dez. 2015 **Dr.-Ing. Amine Mezghani**

Information-theoretic Analysis and Signal Processing Techniques for
Quantized MIMO Communications

Promotionsverfahren der TU München

1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Josef A. Nossek, TU München

2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*, TU München

Apr. 2016 **Dr.-Ing. Ivan Simões Gaspar**

Waveform Advancements and Synchronization Techniques for GFDM

Promotionsverfahren der Technischen Universität Dresden

1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Fettweis, TU Dresden

2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*, TU München

März/Juni 2016 **Xin He**, Ph.D.
 Binary Information Sensing and Multiterminal Source Coding: Rate-Distortion Analysis and Transmission Design
 Promotionsverfahren der University of Oulu, Finland, und der Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST), Japan
 Supervisors: Prof. Markku Juntti, University of Oulu, and Prof. Tadashi Matsumoto, University of Oulu and JAIST
 Reviewer: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer* u.a.



März 2016 **Qun Zhang**, Ph.D.
 Shannon Theory in Optical Fibre Communications
 Promotionsverfahren der University of South Australia, Adelaide
 Advisors: Prof. Terence H. Chan, University of South Australia
 Prof. Frank R. Kschischang, University of Toronto, Canada
 Prof. Shahraam Afshar, University of South Australia
 Reviewer: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*

Juni 2016 **Antonios Pitarokilis**, Ph.D.
 Phase Noise and Wideband Transmission in Massive MIMO
 Promotionsverfahren der Linköping University, Sweden
 Advisor: Prof. Erik Larsson, Linköping University
 Faculty Opponent: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*

Juli 2016 **Dr.-Ing. Lennart Gerdes**
 Capacity Bounds and Achievable Rates for the Gaussian MIMO Relay Channel
 Promotionsverfahren der TU München
 1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Utschick, TU München
 2. Berichter: Prof. Dr. sc. techn. *Gerhard Kramer*

2014 **Dr. ir. Roy Gerardus Henricus van Uden**
 MIMO Digital Signal Processing for Optical Spatial Division Multiplexed Transmission Systems
 Promotion an der Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands
 1. Prüfer: Prof. Dr. P. Poggiolini, Politecnico di Torino
 2. Prüfer: Prof. Dr. M. Karlsson, Calmers Tekniska Högskola, Sweden
 3. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik

Prof. Norbert Hanik war Koreferent bei drei Promotionsverfahren unserer Fakultät sowie bei einer Promotion an der TU Eindhoven.

Okt. 2015 **Dr.-Ing. Fenqgqing Bao**
 Sparse Overcomplete Representation applied to FMCW Reflectometry for Non-uniform Transmission Lines
 Promotionsverfahren an der TU München
 1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil. Jürgen Detlefsen (i.R.)
 2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

Dez. 2015 **Dr.-Ing. Max Ralf Rößner**
 Faseroptische Beschleunigungsmessung
 Promotionsverfahren an der TU München
 1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Alexander W. Koch
 2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

Juli 2016 **Dr.-Ing. Thomas Gehrsitz**
 Entwurf und Evaluierung von Protokollen für die Powerline-Kommunikation im Fahrzeug
 Promotionsverfahren der TU München
 1. Berichter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kellerer, TU München
 2. Berichter: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*



5.4 Vorträge im Doktorandenseminar

Wintersemester 2014/2015

05.11.2014 **Stefan Dierks** (LNT):
Massive and Network MIMO in Local Area Scenarios

05.11.2014 **Dr. Luca Barletta** (LNT):
Upper bound on the capacity of discrete-time Wiener phase noise channels

12.11.2014 **Onurcan İşcan** (LNT):
Laboratory Courses am LNT

26.11.2014 **Hannes Bartz** (LNT):
List and Unique Decoding of Folded Subspace Codes

26.11.2014 **Dr. Roy Timo** (LNT):
Slepian-Wolf coding for Broadcasting with Cooperative Base-stations

17.12.2014 **Onur Günlü** (LNT):
Secrecy with Physical Unclonable Functions (PUFs)

17.12.2014 **Joschi Brauchle** (LNT):
LNT Computer Network: Past, Present and Future

14.01.2015 **Rana Ali Amjad** (LNT):
Low Complexity Channel Resolvability Codes based on Sparse Linear Coding

14.01.2015 **Tobias Fehenberger** (LÜT):
On the Gaussianity of Optical Fiber Systems without Memory

21.01.2015 **Markus Stinner** (LNT):
Finite-length Behavior of Protograph-based Spatially Coupled LDPC Codes

21.01.2015 **Markus Staudacher** (LNT):
Distributed Power Control for Nomadic Relay Network Performance Enhancement in 5G Systems

21.01.2015 **Andrei Nedelcu** (LNT):
Shannon meets Maxwell on the Multiple Antenna Channel

29.01.2015 **Elisabeth Oberleithner** (LÜT):
An Automotive FPGA-based PLC Demonstrator

29.01.2015 **Lars Palzer** (LNT):
Signaling over the Gaussian Channel with Intermittent Feedback

29.01.2015 **Dr. Shirin Saeedi** (LNT):
Capacity Regions of Two-Receiver Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory

Sommersemester 2015

26.05.2015 **Prof. Gerhard Kramer** (LNT):
Upper Bounds on the Capacity of Fiber Channels

26.05.2015 **Lars Palzer** (LNT):
Lossy Source Coding with General Distortion Measures

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

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

Die Organisation des Doktorandenseminars oblag im Wintersemester 2014/2015 Dr. Georg Böcherer.

Das Doktorandenseminar im Sommersemester 2015 wurde als eintägige Blockveranstaltung am Lehrstuhl abgehalten und von Dr. Georg Böcherer organisiert.

Berücksichtigt ist auch ein Vortrag von Metodi Yankov von der



26.05.2015 **Patrick Schulte** (LNT):
Fixed Length Distribution Matching

26.05.2015 **Hannes Bartz** (LNT):
List and Probabilistic Unique Decoding of Folded Subspace Codes

26.05.2015 **Onur Günlü** (LNT):
Practical Algorithm Design for PUFs

26.05.2015 **Andrei Nedelcu** (LNT):
Massive MIMO – Propagation Aspects

26.05.2015 **Markus Staudacher** (LNT):
Massive MIMO Transmitter Design: Modulation over the Air

26.05.2015 **Tasnád Kernetzky** (LÜT):
First Steps towards an FPGA based (SDR) Transmitter

26.05.2015 **Metodi Yankov** (Technical University of Denmark):
Compensation of XPM Interference by Blind Tracking of the Nonlinear Phase in WDM Systems with QAM Input

26.05.2015 **Ginni Khanna** (LÜT):
Joint Linear and Nonlinear Adaptive Pre-Distortion of High Baud Rate Transmitters for High Order Modulation Formats

26.05.2015 **Yingkan Chen** (LÜT):
Full C-band SDM OFDM Transmission through 12 Spatial and Polarization Modes over 74.17 km Few Mode Fiber

Technical University of Denmark in Lyngby, der zu dieser Zeit Gastwissenschaftler am LNT war. Inzwischen ist sein Promotionsverfahren an der DTU abgeschlossen.

Im Rahmen dieses Doktorandenseminars hielt auch Federico Clazzer vom DLR, Oberpfaffenhofen, einen Vortrag, der aber nicht hier, sondern im Kapitel 10.3 aufgeführt ist.

Wintersemester 2015/2016

17.11.2015 **Stefan Dierks** (LNT):
EIRP Constraints for Massive MIMO Arrays

Das Doktorandenseminar im Wintersemester 2015/2016 wurde von Andrei Nedelcu organisiert.

17.11.2015 **Lars Palzer** (LNT):
Fixed-Length Non-Asymptotic Lossy Source Coding

24.11.2015 **Dr. Georg Böcherer** (LNT):
Closing the Ultimate Gap to Shannon Capacity

24.11.2015 **Dr. Youlong Wu** (LNT):
Rate Regions for Relay Broadcast Channels with Rate-limited Feedback

01.12.2015 **Dr. Luca Barletta** (LNT):
The S-Aloha Capacity: Beyond the 1/e Myth

01.12.2015 **Marcin Pikus** (LNT):
Communication in the Wideband Regime

09.12.2015 **Dr. Mansoor Yousefi** (LNT):
Nonlinear Fourier Transform in the Defocusing Regime

09.12.2015 **Amir Ahmadian Tehrani** (LNT):
Complexity Reduction of Large CoMP Areas with Sparse Massive MIMO Channel Matrices

- 05.01.2016 **Patrick Schulte** (LNT):
Limits of Fixed Length Distribution Matching
- 05.01.2016 **Dr. Bernhard Geiger** (LNT):
Informationstheoretische Reduktion von Markov-Ketten und Hidden
Markov Models
- 12.01.2016 **Rana Ali Amjad** (LNT):
Coding for Channel Intrinsic Randomness Extraction
- 12.01.2016 **Andrei Nedelcu** (LNT):
Broadband Coupled Antenna Systems, the Interplay of Antennas, Matching
and Amplifiers
- 21.01.2016 **Tobias Fehenberger** (LÜT):
Improved Achievable Information Rates by Optimized Four-
Dimensional Demappers in Optical Transmission Experiments
- 21.01.2016 **Ginni Khanna** (LÜT):
400G Single Carrier Transmission in 50 GHz Grid Enabled by Adaptive
Digital Pre-Distortion
- 26.01.2016 **Yingkan Chen** (LÜT):
Preliminary Experimental Results on NFT
- 26.01.2016 **Onur Günlü** (LNT):
Transform Coding for Security Primitives: Correlations, Modeling, Secrecy,
and Coding

Das Doktorandenseminar im Sommersemester 2016 wurde Ende August geblockt im Akademiezentrum der TU München in Raitenhaslach abgehalten. Das ehemalige Zisterzienserkloster liegt im Südosten Bayerns nahe Burghausen und ist malerisch in die Landschaft über der Salzach eingebettet.

An drei Tagen gab es 26 Vorträge, darunter drei von Prof. Ralf Müller (FAU Erlangen) und zweier seiner Doktoranden. Weitere Gäste waren Dr. Gianluigi Liva und Dr. Balazs Matuz vom DLR in Oberpfaffenhofen. Vier unserer Studenten haben die Ergebnisse ihrer Masterarbeit vorgestellt und Dr. Michael Heindlmaier und Dr. Joschi Brauchle haben über ihre ersten Erfahrungen im Berufsleben nach dem LNT berichtet. Abgerundet wurde das Seminar durch einen Besuch bei der Firma Wacker Chemie AG in Burghausen.

Organisator dieser dreitägigen Events war Hannes Bartz, einer der nächsten Promotionskandidaten am LNT.

Sommersemester 2016



Akademiezentrums der TUM in Raitenhaslach (Foto: Uli Benz/TUM)

- 29.08.2016 **Dr. Bernhard Geiger** (LNT):
Hard Clusters Maximize Mutual Information – Some Results and an Open
Problem
- 29.08.2016 **Lars Palzer** (LNT):
Sparse Regression Codes
- 29.08.2016 **Dr. Shirin Saeedi** (LNT):
Noisy Broadcast Networks with Caching Receivers
- 29.08.2016 **Mohammad Mahdi Mojahedian** (Universität Erlangen):
Perfectly Secure Index Coding



29.08.2016 Prof. **Gerhard Kramer** (LNT):
Phase Noise and High SNR

29.08.2016 Dr. **Balazs Matuz** (DLR):
LDPC Coded DPSK Modulation for Phase Noise Channels

29.08.2016 **Edson Porto da Silva** (LNT-Gast):
Widely Linear Adaptive Equalization for Optical Coherent
Receivers

29.08.2016 **Tasnád Kernetzky** (LT, Poster):
Flexible Powerline Communications for Industrial Applications

29.08.2016 **Julian Renner** (LT, MT, Poster):
Multidimensional Probabilistic Shaping for the Nonlinear Fiber Channel

29.08.2016 **Lukas Holzbaur** (LNT, FP, Poster):
Decoding Schemes for Staircase Codes

29.08.2016 **Delcho Donev** (LNT, MT, Poster):
Pulse Position Modulation with Polar Codes

30.08.2016 Prof. **Ralf Mller** (Universität Erlangen):
Equivalent Single User Channels Revisited

30.08.2016 **Manuela Meier** (MT LNT):
Improved Syndrome Decoding of Interleaved Subspace Codes

30.08.2016 **Hannes Bartz** (LNT):
On List-Decoding Schemes for Punctured Reed-
Solomon, Gabidulin and Subspace Codes

30.08.2016 **Rana Ali Amjad** (LNT):
Error Exponent and Achievable Rates for Probabilistic Amplitude Shaping

30.08.2016 **Tobias Prinz** (LNT):
Polar Codes for Probabilistic Amplitude Shaping

30.08.2016 **Peihong Yuan** (LNT):
Punctured & Shortened Polar Codes

30.08.2016 Dr. **Michael Heindlmeier** (ehemals LNT):
Coded Caching

30.08.2016 Dr. **Joschi Brauchle** (ehemals LNT):
Life after Leaving LNT – the Next 35 Years

30.08.2016 **Ebrahim Amiri** (Universität Erlangen):
On the Evaluation of Blind Pilot Decontamination

31.08.2016 Dr. **Gianluigi Liva** (DLR):
Raptor Codes: Performance Bounds

31.08.2016 **Andrei Nedelcu** (LNT):
Physics-based Circuit Models of MIMO Antennas and their Significance for
System Evaluation

31.08.2016 **Tao Guo** (LNT-Gast):
Multiple Descriptions with Erasure Distortions

31.08.2016 **Onur Günlü** (LNT):
Quantizer and Code Design for Secret-key Binding to Physical Identifiers
with Performance Guarantees

31.08.2016 **Dr. Vladimir Sidorenko** (LNT):
Decomposition of Multidimensional Gray Codes

5.5 Doktorhutgalerie

Nachdem am Ende dieses Kapitels noch Platz ist, zeigen wir abschließend die im Berichtszeitraum 2014–2016 neu hinzugekommenen Exemplare unserer Doktorhutgalerie,

- zum einen als nette Erinnerung für die neue Frau Doktor und die sechs neuen Herren Doktoren,
- gleichzeitig aber auch als ein Ansporn für die Kandidatinnen und Kandidaten in nächster Zukunft.

Es ist eine lange Tradition an unserem Lehrstuhl, aber auch an vielen ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten in Deutschland, dass die Kolleginnen und Kollegen zum Abschluss der Promotion einen Hut bauen und beim anschließenden Sektempfang übergeben. An anderen Fakultäten und im Ausland, ist dagegen der seriöse schwarze schlichte Doktorhut der Standard, oft in Verbindung mit dem obligatorischen Talar.

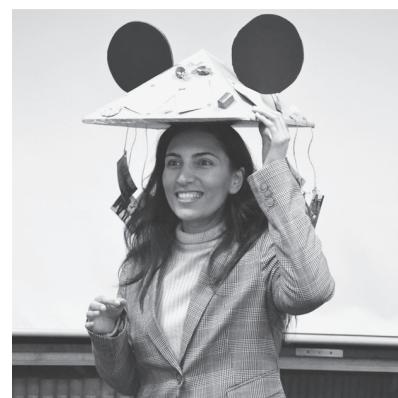
Ein gelungener Doktorhut sollte nicht nur das Promotionsthema wiedergeben, sondern auch die Persönlichkeit des Doktoranden, seine Vorlieben, seine Stärken und vielleicht auch seine Schwächen (wohdosiert).



Dr.-Ing. Yingkan Chen (28.09.2016)



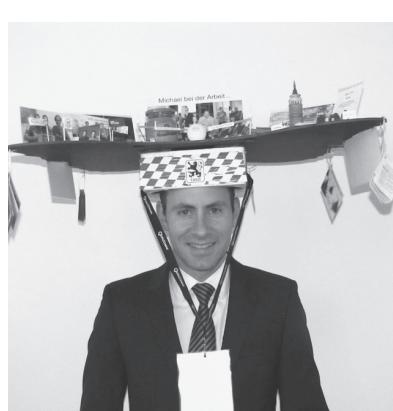
Dr.-Ing. Markus Stinner (01.09.2016)



Dr.-Ing. Marwa El Hefnawy (11.12.2015)



Dr.-Ing. Joschi Brauchle (09.12.2015)



Dr.-Ing. Michael Heindlmaier (26.10.2015)



Dr.-Ing. Onurcan İşcan (11.12.2014)



Dr.-Ing. Stephan Hellerbrand (13.11.2014)

6

Arbeitsgebiete

Überblick über die Forschungsthemen am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Gerhard Kramer

Im Berichtszeitraum 10/2014-09/2016 gab es bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern des LNT viele Veränderungen, sowohl bei den Doktoranden als auch bei den Postdocs.

Ende 2014 kamen Bernhard Geiger von der TU Graz und Youlong Wu von der Télécom ParisTech als neue Postdocs hinzu. Bernhard erhielt 2015 vom österreichischen Wissenschaftsfonds ein *Schrödinger-Auslandsstipendium*. Youlong kam zu uns als *TUM Foundation Fellow* und erhielt 2015 ein *Humboldt Research Fellowship*. Im Januar 2015 folgte dann Vladimir Sidorenko als *Senior Researcher*. Er unterstützt unsere Arbeiten auf dem Gebiet der algebraischen Codierung und der Sicherheitscodierung, zwei Arbeitsgebiete, die durch den Zugang unserer neuen Tenure-Track Professorin Antonia Wachter-Zeh auch am LNT an Bedeutung gewinnen werden.

Drei unserer Postdocs haben uns 2016 nach einigen Jahren verlassen. Luca Barletta und Mansoor Yousefi wechselten als *Assistant Professors* zum *Politecnico di Milano* bzw. zur *Télécom ParisTech*. Roy Timo beendete sein *Humboldt Research Fellowship* und forscht nun bei Ericsson in Stockholm.

Zwei Senior Researchers bleiben dem LNT erhalten. Georg Böcherer arbeitet an seiner Habilitation, die im nächsten Jahr abgeschlossen sein sollte. Shirin Saeedi Bidokhti erhielt 2014 vom Schweizerischen National-

fonds ein *Postdoc Fellowship* und verbrachte 2015/2016 mit dieser Finanzierung neun Monate an der Stanford University.

Die Hauptarbeitsgebiete am LNT bleiben weiterhin die Informationstheorie und die Codierung für Multi-user Systeme mit dem Fokus auf

- Code-Design incl. Shaping, algebraische und LDPC Codes;
- Informationstheorie für Netzwerke und Sicherheit;
- MIMO-Kanäle.

Im Berichtszeitraum haben fünf meiner Doktoranden ihre Promotion abgeschlossen. Im Folgenden werden ihre Arbeiten kurz zusammengefasst. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie auf den Seiten 38 - 42:

Onurcan İşcan (S. 38) hatte seine Doktorprüfung im Dezember 2014. Um die Arbeit abzurunden, besuchte er die University of South Australia in Adelaide und entwickelte dort Codes für Zwei-Wege-Relaying.

Michael Heindlmaier (S. 39) bearbeitete mit seinem Zimmernachbarn Onur das Thema *Relay Channels* und gemeinsam mit Shirin das Thema *Broadcast Packet Erasure Channels* mit Rückkopplung. Seine Prüfung war im Oktober 2015.

Joschi Brauchle (S. 40) beendete seine Arbeit über *Algebraic Decoding of Interleaved and Folded Reed-Solomon Codes* im Dezember 2015.

Marwa El Hefnawy (S. 41) hatte ihre Doktorprüfung im Dezember 2015. Ihr Thema war *Spectral Effi-*

cency, Spectral Shaping, Adaptive Coding and Modulation for Faster-than-Nyquist Signaling.

Markus Stinner (S. 42) schloss seine Doktorarbeit zum Thema *Design of Spatially Coupled Low-Density Parity-Check (LDPC) Codes on the Binary Erasure Channel (BEC)* im September 2016 ab.

Anschließend finden Sie Berichte der Postdocs bzw. Senior Researchers:

- Georg Böcherer (S. 55),
- Bernhard Geiger (S. 56),
- Shirin Saeedi Bidokhti (S. 57),
- Vladimir Sidorenko (S. 58),
- Youlong Wu (S. 59),
- Roy Timo (S. 80).

Danach folgen Beiträge der internen (am LNT) und externen Doktoranden mit Beginn vor dem 01.09.2016:

- Amir Ahmadian Tehrani (S. 60),
- Rana Ali Amjad (S. 61),
- Hannes Bartz (S. 62),
- Stefan Dierks (S. 63),
- Onur Günlü (S. 64),
- Andrei Nedelcu (S. 65),
- Lars Palzer (S. 66),
- Marcin Pikus (S. 67),
- Tobias Prinz (S. 68),
- Patrick Schulte (S. 69),
- Markus Staudacher (S. 70),
- Peihong Yuan (S. 71).

Ich möchte noch anmerken, dass die wissenschaftlichen Mitarbeiter neben ihrer Forschung viele Aufgaben in Lehre, Verwaltung sowie Vorbereitung und Durchführung internationaler Workshops (im Schnitt sechs pro Jahr) übernehmen müssen.

October 2014 – September 2016 saw many changes in the composition of LNT, both in terms of senior researchers and doctoral candidates.

In late 2014, we welcomed Bernhard Geiger from the *Graz University of Technology* and Youlong Wu from *Télécom ParisTech* as new postdocs. Bernhard received a Schrödinger Fellowship from the Austrian Science Fund in 2015. Youlong joined us as a TUM Foundation Fellow and was awarded a Humboldt Research Fellowship in 2015. In January 2015, Vladimir Sidorenko joined us as a senior researcher. He has been supporting our work on algebraic and security coding, which are two areas that will become more important with the addition of our new tenure track Professor Antonia Wachter-Zeh (starting at LNT in October 2016).

Three postdocs left us in 2016. Luca Barletta and Mansoor Yousefi joined *Politechnico di Milano* and *Télécom ParisTech*, respectively, as Assistant Professors. Roy Timo completed his Humboldt Research Fellowship and joined Ericsson in Stockholm.

Two senior researchers continued at the LNT. Georg Böcherer is working on his habilitation that should be completed next year. Shirin Saeedi Bidokhti received a Postdoc Fellowship from the Swiss National Science Foundation in 2014 and has been spending several months at Stanford University.

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

- Code design, including shaping, LDPC codes, and algebraic codes;
- Information theory for networks and security;
- MIMO channels.

Five doctoral candidates completed their theses during the time of this report, one in 2014, three in 2015 and one in 2016. The following describes their work briefly; you will find details on the following pages.

First, *Onurcan İşcan* (see p. 38) had his Dr. Ing. exam in December 2014. To complete his thesis, he visited the University of South Australia in Adelaide where he developed codes for two-way relaying. *Prof. Petar Popovski* from Aalborg University was the 2nd examiner.

Michael Heindlmaier (p. 39) was Onur's officemate and they worked together on relay channels. Michael also collaborated with Shirin on broadcast packet erasure channels with feedback. Michael's defense was in October 2015; *Prof. Giuseppe Caire* from TU Berlin and *Prof. Chih-Chun Wang* from Purde University served as co-examiners.

Joschi Brauchle (p. 40) completed his work on algebraic decoding of interleaved and folded Reed-Solomon codes. His thesis defense was in December 2015 and *Prof. Frank Kschischang* from the University of Toronto served as the 2nd examiner.

Marwa El Hefnawy (p. 41) also had her Dr. Ing. Exam in December 2015. Her thesis considered spectral efficiency, spectral shaping, and adaptive coding and modulation for Faster-than-Nyquist Signaling, a method invented by the late James Mazo. *Prof. Stephan ten Brink* from the University of Stuttgart was the 2nd examiner.

Markus Stinner (p. 42) completed his thesis in September 2016 shortly before his 30th birthday. His thesis considered the design of spatially coupled low-density parity-check codes on the binary erasure channel. Many code classes were considered. The 2nd examiner was *Prof. Michael Lentmaier* from Lund University.

The other members of the LNT mainly continued their work from previous years. A selection of topics the postdocs worked on is listed in the following text.

- *Georg Böcherer* (p. 55): shaping, coding and modulation.
- *Bernhard Geiger* (p. 56): Markov lumpings, caching, polar codes.

- *Shirin Saeedi Bidokhti* (p. 57): broadcasting with feedback.
- *Vladimir Sidorenko* (p. 58): subspace codes, security codes.
- *Youlong Wu* (p. 59): broadcast channels with feedback.
- *Roy Timo* (p. 80): spike sources, caching, and conferencing.
- *Luca Barletta*: phase noise channels.
- *Mansoor Yousefi*: the nonlinear Fourier transform.

The doctoral candidates worked on the following topics.

- *Amir Ahmadian Tehrani* (p. 60): simplified precoding for MIMO.
- *Rana Ali Amjad* (p. 61): theory for resolvability and clustering.
- *Hannes Bartz* (p. 62): subspace codes and list decoding.
- *Stefan Dierks* (p. 63): Massive MIMO and network MIMO.
- *Onur Günlü* (p. 64): privacy and security for PUFs.
- *Andrei Nedelcu* (p. 65): matching circuits for MIMO.
- *Lars Palzer* (p. 66): rate-distortion theory for spike sources.
- *Marcin Pikus* (p. 67): non-coherent block-fading channels.
- *Tobias Prinz* (p. 68): shaping, polar codes, and modulation.
- *Patrick Schulte* (p. 69): matching distributions to channels.
- *Markus Staudacher* (p. 70): algorithms for MIMO downlinks.
- *Fabian Steiner* (beginning 09/2016): shaping and LDPC codes.
- *Peihong Yuan* (p. 71): polar codes and list decoding.

The above list shows that we have started to focus more on coding in the past two years, but the LNT continues to have a wide range of research expertise.

As in the past, the doctoral students must balance several responsibilities in addition to their research and teaching duties. For example, since the last report in 2014 the LNT organized about one major event every two months, including eight workshops with international scientists. The productivity and accomplishments of our doctoral candidates is ample evidence that information theory, coding, and communications theory continue to be vibrant topics.

Coding and Modulation for Challenging Channels

Georg Böcherer



Eines unserer Ziele am LNT ist die Entwicklung praktischer Kommunikationssysteme, welche die informationstheoretischen Grenzen erreichen. Ein wichtiger Meilenstein war die Entwicklung von *Probabilistic Amplitude Shaping*, wobei die Eingangswahrscheinlichkeitsverteilung an den Kanal angepasst wird. Verwendet wird zudem bitweise Decodierung.

Für einige Modulationsverfahren, z.B. Puls-Pausen-Modulation, kommt es wegen der bitweisen Decodierung zu Verlusten. Um solche zu vermeiden und die informationstheoretischen Grenzen zu erreichen, untersuchen wir Polar-Codierungsverfahren mit *Multi Level Coding* und *Multistage Decoding*.

One LNT mission is to develop practical communication systems that reach the information-theoretic limits. A key milestone on this mission was the development of *Probabilistic Amplitude Shaping* (PAS) [1], which is now being commercialized for fiber-optic transmission and is a strong candidate for future wireless standards.

On the additive white Gaussian noise (AWGN) channel, PAS has two remarkable properties. First, it removes the shaping gap, and second, it achieves this with bit-metric decoding (BMD), i.e., by using a bit-wise demapper and a binary decoder. This is illustrated in the figure. No Turbo iterations between the demapper and the decoder are required. PAS exploits channel state information (CSI) at the transmitter: the channel input distribution and the constellation scaling take into account that BMD is used at the receiver.

Challenging Channels: For a fading channel where the channel coherence time is shorter than the block length of the transceiver, the transmitter does not know the instantaneous CSI prior to transmission. Consequently, the transmitter must use the same distribution and constellation scaling for different channel realiza-

tions within a block, which may lead to a significant loss when BMD is used at the receiver [2]. Modulation and coding for a fading environment becomes even more challenging when the transmitter and/or the receiver use more than one antenna.

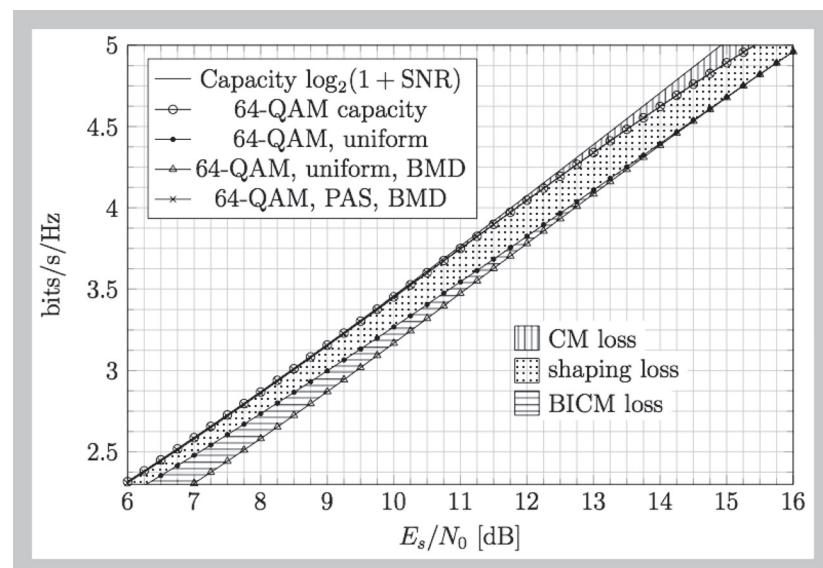
Mismatched Decoding: The goal of mismatched decoding [3] is to acquire a better understanding of BMD losses. First, the losses can be artificial because the evaluated rate lower bounds are loose. Second, it may be possible to reduce losses by choosing better bit-metrics. Third, the losses may be fundamental, so that strategies other than BMD must be used to achieve the information-theoretic limits.

Overcoming the BMD Gap: To overcome a fundamental BMD gap, multi-level coding (MLC) with multistage decoding (MD) has been proposed in the literature. When LDPC codes are used, the design of MLC-MD systems is challenging, since for each level a specific code must be designed. Instead, LDPC coded systems often resort to using Turbo iterations between the demapper and decoder [3, 4]. On the other hand, Polar codes with successive cancellation decoding inherently implement MLC-MD. Our goal is to explore this

property of Polar codes in our attempt to reach the information-theoretic limits of challenging channels.

Literature:

- [1] Böcherer, G.; Steiner, F.; Schulte, P.: Bandwidth Efficient and Rate-matched Low-density Parity-check Coded Modulation. In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 12, pp. 4651–4665, Dec. 2015
- [2] Fertl, P.; Jalden, J.; Matz, G.: Performance Assessment of MIMO-BICM Demodulators based on Mutual Information. In: *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 60, no. 3, pp. 1366–1382, Mar. 2012
- [3] Ganti, A.; Lapidoth, A.; Telatar, E.: Mismatched Decoding Revisited: General Alphabets, Channels with Memory, and the Wide-band Limit. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 7, pp. 2315–2328, Nov. 2000
- [4] Hochwald, B. M.; ten Brink, S.: Achieving Near-capacity on a Multiple-antenna Channel. In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 3, pp. 389–399, Mar. 2003



Achievable rates of BMD for uniform input and PAS, respectively

Information-theoretic Simplification of Markov and Hidden Markov Models

Bernhard C. Geiger

Viele der Markov-Modelle, die in den unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen eingesetzt werden, leiden unter der sogenannten Zustandsraumexplosion: Die Anzahl der möglichen Zustände ist zu groß, um das Modell brauchbar zu machen. Im beschriebenen Forschungsprojekt untersuchen wir informationstheoretische Methoden zur Modellvereinfachung.

Unsere Ergebnisse zeigen Verbindungen zu Methoden des maschinellen Lernens, zur Graphentheorie und zur *Zero-Error Information Theory*. Wir glauben, dass unsere Methoden unter anderem in der theoretischen Chemie gewinnbringend eingesetzt werden können.

In many scientific disciplines, the Markov chains used to model real-world stochastic processes are too large to admit efficient simulation or estimation of model parameters. For example, in natural language processing and computational chemistry, the number of states the Markov chain can assume is related to the number of words in a dictionary and the number of molecules in a given volume, respectively. It is therefore important to simplify the model. Possible approaches include replacing the model with a Markov chain with a smaller alphabet, approximating the transition probability matrix by a

low-rank matrix or by a matrix with finite-precision entries, or projecting the Markov chain through a non-injective function, yielding a non-Markovian process with a smaller alphabet. Often, these approaches are intricately connected. One may approximate the non-Markovian process from the latter approach by a Markov chain, and thus obtain a Markov model with a smaller alphabet. This is depicted in the figure.

In any of these approaches, there are choices to make: How should we choose the smaller alphabet? What should the approximating matrices look like? Which function should we use for projecting? In our work, we try to answer these questions with information theory.

In one line of research we looked for a non-injective function such that the projected, non-Markovian process on the smaller alphabet contains the same information as the original Markov chain. In other words, the simplified process contains the same information as the original one. We identified connections with zero-error information theory and formulated a graph-theoretical method for finding those non-injective functions that preserve information [1]. Preliminary analyses suggest that this method is particularly useful in computational chemistry, where the models are sparse and show a great amount of regularity.

In another line of research we employ the Kullback-Leibler divergence rate, a quantity measuring the dissimilarity of two stochastic pro-

cesses, to replace one Markov chain with a (possibly higher-order) Markov chain with a smaller alphabet. As depicted in the figure, the small alphabet is obtained by clustering states of the original chain. Depending on the precise formulation, this approach chooses the clustering either in a way that maximizes the predictability of the resulting simplified model, or in a way that maximizes the “Markov-ness” of the process obtained by projecting the Markov chain through the corresponding function [2]. We currently try to extend this approach to the reduction of hidden Markov models, and we believe that the search for a clustering of the states, i.e., for an appropriate non-injective function, can be performed by using the information bottleneck method [3].

Finally, we are investigating the connection between simplifying a Markov model and clustering data points based on pairwise distances or pairwise similarities, as proposed in, e.g., [4]. Information theory may yet again build a bridge between two disciplines: model order reduction and machine learning.

Literature:

- [1] Geiger, B. C.; Hofer-Temmel, C.: Graph-based Lossless Markov Lumpings. In: *Proc. IEEE Int. Symp. on Inf. Theory (ISIT)*, Barcelona, arXiv: 1509.06580 [cs.IT], pp. 3033–3037, July 2016
- [2] Geiger, B. C.; Wu, Y.: Higher-order Optimal Kullback-Leibler Aggregation of Markov Chains. In: arXiv: 1608.04637 [cs.IT], Aug. 2016
- [3] Tishby, N.; Pereira, F.C.; Bialek, W.: The Information Bottleneck Method. In: *Proc. Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, Monticello, pp. 368–377, Sept. 1999
- [4] Friedman, A.; Goldberger, J.: Information-theoretic Pairwise Clustering. In: *Proc. Similarity-based Pattern Recognition*, ser. LNCS, E. Hancock and M. Pelillo, Eds. Berlin: Springer, vol. 7953, pp. 106–119, 2013

Illustration of the Markov Aggregation Problem

Noisy Broadcast Networks with Caching Receivers

Shirin Saeedi Bidokhti



Dargelegt wird der Zusammenhang zwischen Kapazität und Speicherbedarf für vertrauliche Broadcast-Netze mit Caching-Empfängern. Angegeben wird eine allgemeine obere Schranke für degradierte Broadcast-Kanäle, die oft sehr nahe an der Kapazität liegt. Ein gemeinsamer Entwurf von Cache und Kanalcodes führt zu signifikant besseren Ergebnissen als ein separates Design. Das vorgeschlagene Konzept wird für ein Broadcast-Netz mit Paketauslösungen für zwei Beispiele analysiert, einmal mit schwachem Empfänger und Cache-Speicher, zum anderen mit starkem Empfänger allein.

Caching is a technique to increase throughput and reduce latency by replicating and storing information in local cache memories near users at the network edge. This pre-placement of information is called the caching phase and is done during off-peak hours when bandwidth is not a limiting network resource. It is typically not known in this phase which files the users will demand; hence a small fraction of all (popular) files are usually stored in the caches.

The information-theoretic aspect of caching has recently received significant attention. Maddah-Ali and Niesen [1] considered a rate-limited noiseless broadcast network where users have individual caches of equal sizes. They showed that a smart design of the content of the caches lets the server send coded data in the delivery phase and simultaneously serve multiple users. This scheme offers a *global caching gain* that scales with the total caches in the network, and is beyond the traditional *local caching gain* (due to individual caches).

We consider the scenario where communication takes place over a noisy broadcast channel (BC). The transmitter has a library of D independent messages, each of rate R , and each receiver is equipped with a cache memory. We study the capacity-memory tradeoff, i.e., we consider

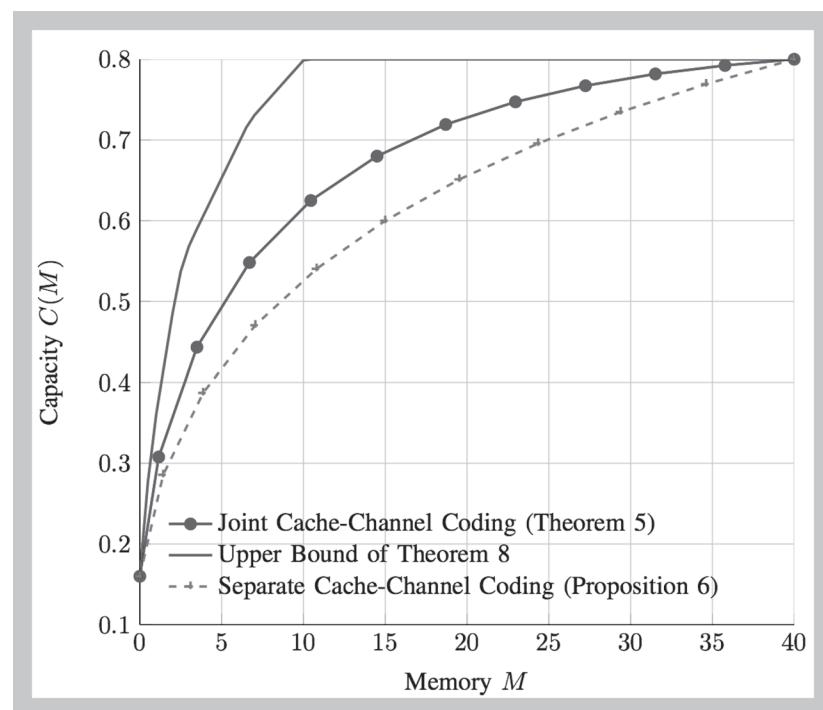
the maximum achievable rate R as a function of the cache sizes. In [2], we establish an upper bound on the capacity-memory tradeoff of degraded BCs and show that the bound is tight in some examples. In [3], [4], we propose a *joint cache-channel* coding scheme and show that it offers substantial gain over *separate cache-channel coding schemes* that design the caches and messages based on [1] and a channel code for the BC.

The idea behind our scheme is best illustrated in the following set-up. The channel is modeled by an erasure BC with packet inputs of size F and two disjoint sets of receivers: a set of K_w weak receivers with all-equal erasure probabilities δ_w and equal cache sizes M and a set of K_s strong receivers with all-equal erasure probabilities δ_s and no cache memories. By jointly designing the cache and the BC code, we can encode parts of the messages of the strong users jointly with the messages of the weak users for free. This coding scheme offers new global caching gains that are unbounded

in the number of strong receivers. The figure plots our lower and upper bounds on the capacity-memory tradeoff of a packet erasure.

Literature:

- [1] Maddah-Ali, M.A.; Niesen, U.: Fundamental Limits of Caching. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, May 2014
- [2] Saeedi Bidokhti, S.; Wigger M.; Timo, R.: An Upper Bound on the Capacity-Memory Tradeoff of Degraded Broadcast Channels. In: *Proc. Int. Symp. Turbo Codes & Iterative Inf. Proc.*, Brest, France, Sep 2016
- [3] Saeedi Bidokhti, S.; Wigger M.; Timo, R.: Erasure Broadcast Networks with Receiver Caching. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, July 2016.
- [4] Saeedi Bidokhti, S.; Wigger M.; Timo, R.: Noisy Broadcast Networks with Receiver Caching. Available on: <https://arxiv.org/abs/1605.02317>



Bounds on the capacity-memory tradeoff of a packet erasure BC with $K_w = K_s = 10$, $F = 50$, $D = 50$, $\delta_w = 0.8$, $\delta_s = 0.2$

On Syndrome Decoding of Punctured Reed-Solomon and Gabidulin Codes

Vladimir Sidorenko

F_{q^m} are obtained by selecting code locators from the subfield F_q , see details in [1]. The punctured codes correct $2m/(m+1) \approx 2$ times more errors than the nonpunctured ones.

The punctured codes can be represented as interleaving (Scheme I, see [2]) of m correspondent codes over the subfield F_q or can be considered as virtual interleaving of m correspondent codes over the field F_{q^m} (Scheme V, see [3] [4]).

Punktierte Reed-Solomon-Codes (RS) und Gabidulin-Codes (G) im Galoisfeld F_{q^m} mit Stützstellen aus dem Subkörper F_q können im Vergleich zu herkömmlichen RS-Codes bis zu doppelt so viele Fehler korrigieren. Dies macht punktierte Codes interessant für praktische Anwendungen. Sie können sowohl als Interleaving von m Codes über dem Körper F_q , als auch als virtuelles Interleaving von m Codes über dem Körper F_{q^m} dargestellt werden.

Die m -interleaved oder m -virtuell interleaved Codes können mit einem probabilistischen Syndromdecoder bis zu einem Decodierradius von $m/(m+1) \cdot (d-1)$ decodiert werden, wobei d die Hammingdistanz der RS-Codes und die Rangdistanz für G-Codes bezeichnet. Wir zeigen, dass die jeweiligen Decoder über den Subkörper F_q sowie über den Körper F_{q^m} äquivalent sind. Man sollte den Decoder über den Subkörper verwenden, da dieser effizienter ist.

Reed-Solomon (RS) and Gabidulin (G) codes are widely used for error correction in many applications including telecommunications, networking, data storage, and cryptography. Punctured codes over the field

of the Berlekamp-Massey (BM) algorithm is $(d-1)/2 = 64$, and of the Guruswami-Sudan (GS) algorithm is $n[1 - (k/n)^{1/2}] = 75$. It follows from the above Theorem that syndrome decoding (see Algorithm 2 in [2]) has a decoding radius $t_{\max} = 116.36$ and corrects up to $t = 115$ errors with probability of decoding failure $P_f(t) \leq 10^{-38}$. The decoding complexity for Scheme I is $O(10n^2)$ operations in F_{256} (same for BM) and is $m^2 = 100$ times more for Scheme V.

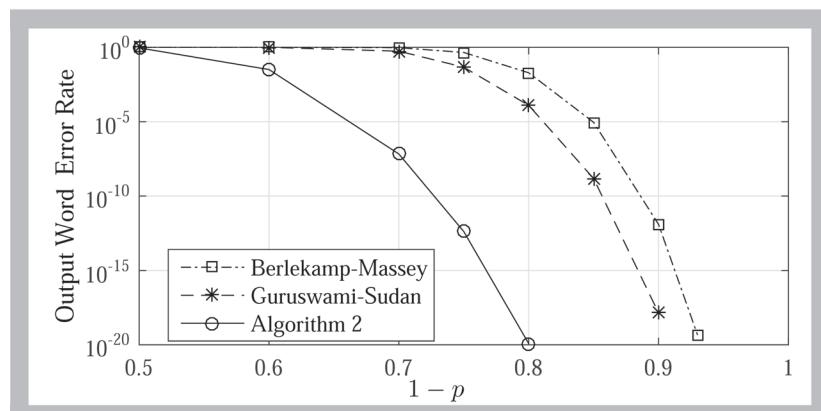
In the figure we compare the performance of three decoding algorithms (BM, GS, and Alg. 2 in [2]) for the constructed punctured RS code in a q^m -ary symmetric channel with probability $1 - p$ of correct symbol transmission. The gain of the Algorithm 2 is substantial.

We conclude that in practice one should use a decoder over the subfield (Scheme I) since it has less complexity. Similar results are valid for interpolation-based decoders too.

The project is a joint work with Hannes Bartz (see p. 62).

Literature:

- [1] Bartz, H.; Sidorenko, V.: On Syndrome Decoding of Punctured Reed-Solomon and Gabidulin Codes. In: *15th Int. Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory (ACCT)*, June 2016
- [2] Sidorenko, V.; Schmidt, G.; Bossert, M.: Decoding Punctured Reed-Solomon Codes up to the Singleton Bound, In: *7th Int. ITG Conf. on Source and Channel Coding (SCC)*, Jan 2008
- [3] Guruswami, V.; Xing, C.: List Decoding Reed-Solomon, Algebraic-geometric, and Gabidulin Subcodes up to the Singleton Bound, In: *Electronic Colloq. Comp. Complexity*, vol. 19, no. 146, 2012
- [4] Shen, L.-Z.; Wei, F.F.; Guang, X.: Unique Decoding of Certain Reed-Solomon Codes, In: *IEICE Trans. on Fund. of Electr., Comm. and Comp. Sciences*, vol. E98-A, no. 12, pp. 2728-2732, Dec. 2015



Comparison of decoding schemes for punctured RS codes

Cooperative Relay Broadcast Channels with Rate-limited Feedback

Youlong Wu



Es werden Codierverfahren für die Übertragung in diskreten und gedächtnislosen Multicast-Netzen mit ratenlimitierter Rückkopplung von den Empfängern und Relais zum Sender vorgeschlagen. Diese Verfahren liefern bessere Ergebnisse als die von Lim et al. [2] vorgeschlagene Codierung. Für Kanäle mit einem einzigen Relais und Rückkopplung vom Relais zum Sender ist unser Codierschema sogar besser als alle bekannten unteren Schranken für die erreichbare Rate bei Systemen ohne Rückkopplung.

Motiviert durch die obigen Ergebnisse schlagen wir ein neues Codierverfahren für diskrete gedächtnislose Multicast-Netze vor, bei dem der Sender die Kompressionsindizes decodiert, statt sie direkt durch Rückkopplung zu gewinnen. Dieses Verfahren ist bei einigen Kanälen besser als Netzwerkcodierung und verteilte *decode-forward*-Codierung.

The relay channel describes a 3-node communication channel where the transmitter sends a message to the receiver with the assistance of a relay. Cover and El Gamal [1] proposed two basic strategies: *compress-forward* (CF) and *decode-forward* (DF) that are based on block-Markov coding.

The CF strategy has the relay compress its outputs and send the compression index to the receiver. The DF strategy has the relay first decode all or part of the message and then send the decoded message to the receiver. Both strategies have been generalized to multi-relay channels. The CF strategy was later extended to multi-message multicast and multi-message networks, called noisy network coding (NNC) [2]. Recently, a distributed DF scheme (DDF) was proposed for multicast and broadcast relay networks [3].

A different line of work has concentrated on relay channels with feedback. It was known that perfect feedback from the receiver to the relay makes the relay channel physically

degraded, and DF therefore achieves the capacity. For the case of feedback from the receiver or relay to the transmitter the capacity is unknown in general.

In our work, we consider the general discrete memoryless multicast network (DM-MN) with feedback. This network consists of $N > 1$ nodes where the transmitter sends a source message to different receivers with the assistance of multiple relays and in the presence of rate-limited feedback from the receivers and relays to the transmitter as well. We propose new coding schemes based on block-Markov coding, superposition coding, joint backward decoding, and hybrid relaying.

In our Scheme 1A, the relays and receivers use CF and send the compression indices to the transmitter through the feedback links. After obtaining the compression indices, the transmitter sends them together with the source message. Each receiver uses backward decoding to jointly decode the source message and all compression indices.

Our Scheme 1B is similar, except that each relay uses not only CF, but also partial DF [1]. Scheme 1C allows the relays to decode different parts of the source message, which can potentially achieve higher rates than Scheme 1A and Scheme 1B. For some channels, such as the Gaussian

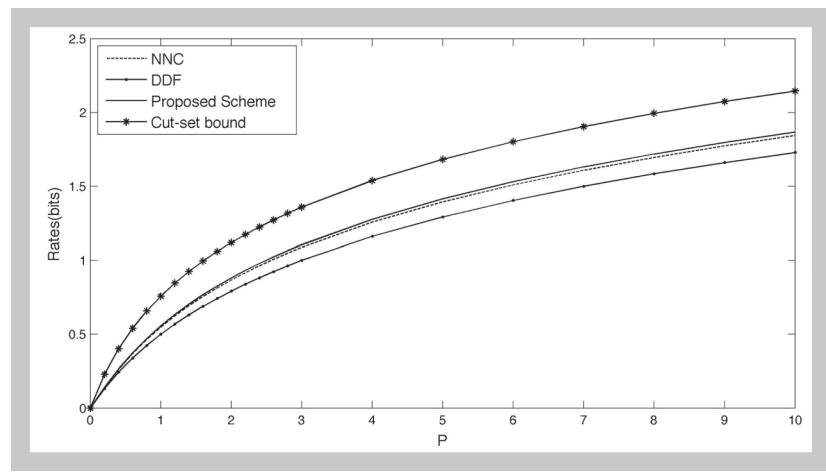
relay channel and Z relay channels, our coding schemes strictly improve NNC, DDF, and all known lower bounds on the achievable rate in the absence of feedback.

Motivated by our feedback coding schemes, we propose a new scheme for DM-MNs without feedback. We show that our non-feedback coding scheme still strictly improves NNC and DDF lower bounds for some channels.

The figure shows that for some Gaussian relay channels our proposed scheme strictly improves NNC and DDF when the transmitter can observe the channel outputs.

Literature:

- [1] Cover, T.; Gamal, A. El: Capacity Theorems for the Relay Channel. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 25, no. 5, pp. 572–584, Sept. 1979
- [2] Lim, S.; 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. 2011
- [3] Lim, S.; Kim, K. T.; Kim, Y.-H.: Distributed Decode-forward for Multicast. In: *Inf. Theory Workshop (ITW), IEEE*, pp. 556–560, 2014



Maximum reach for varying launch powers P

Low Complexity Massive MIMO Zero Forcing Precoding in Large CoMP Areas

Amir Ahmadian Tehrani

specifically for frequencies below 6 GHz [1].

A particular focus of 5G systems is joint transmission coordinated multipoint (JT CoMP) over multiple sites combined with massive multiple-input-multiple-output (mMIMO). Such systems have the potential to combat interference and they have been identified to support large multi-user MIMO (MU-MIMO) gains [2]. Furthermore, network clustering turns a potentially interference-free system (in case of network-wide cooperation) into an interference-limited one due to the inter-cluster interference and is an essential part of CoMP. This clustered network is called cooperation area (CA) in the CoMP literature.

Since coordination in the spatial domain relies on using multiple antenna combining, there have been few techniques for advanced beamforming. To reduce the complexity of mMIMO antenna arrays in such architectures, the number of antennas is restricted to a set of essential values by generating a narrow and fixed grid of beams (GoBs) [3] at the evolved node B (eNodeB). The processing complexity of zero forcing precoding for a joint coordinated

Aufgrund der Fähigkeit, Interferenzen zwischen Funksignalen stark abzuschwächen, ist *Joint Transmission Coordinated Multi-Point* (JT CoMP) ein aussichtsreicher Kandidat für zukünftige 5G-Systeme. In Kombination mit *massive Multiple-Input-Multiple-Output* (mMIMO) resultiert daraus eine nur spärlich besetzte Kanalmatrix mit relativ wenigen Kanalkomponenten, wenn bei den Basisstationen ein festes Raster mit verschiedenen Abstrahlrichtungen benutzt wird. Dadurch wird der Overhead zur Übertragung der Kanalzustandsinformation (CSI) deutlich gesenkt. Obwohl bei großen Zellen „JT CoMP“ in Kombination mit massive MIMO große Herausforderungen hinsichtlich Precoding mit sich bringt, wird diesem Forschungsgebiet eine große Aufmerksamkeit gewidmet.

Recent years have seen a wide-spread effort to maximize the spectral efficiency, capacity and coverage of future 5G mobile radio access systems

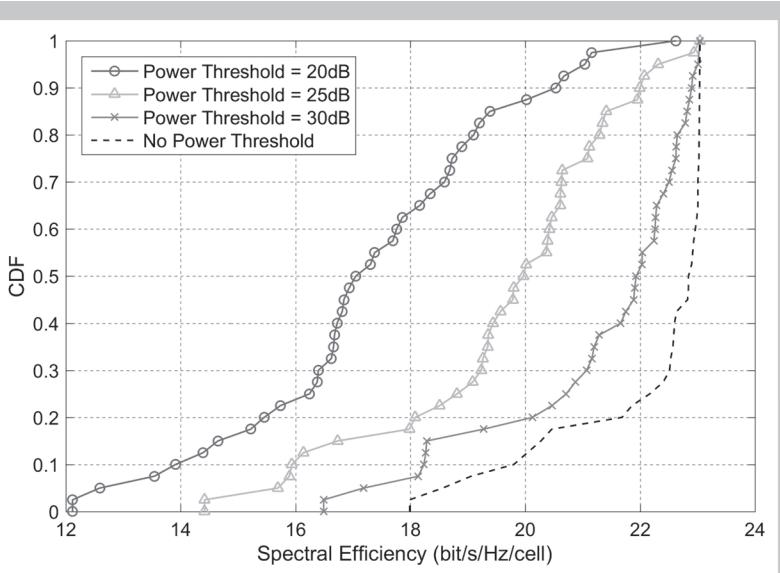
cluster with up to 288 beams transmitted in a group of nine clustered small cells is on the order of 10^6 floating-point operations per second using a state-of-the-art algorithm of [3].

Computational complexity is thus a challenging issue for eNodeB JT CoMP which requires adjacent sites to be synchronized by constantly exchanging user data. A typical JT CoMP channel matrix where the fixed beams are “gridded” directly to the users has a high percentage of channel coefficients below a certain power threshold (e.g. 25 dB). Such coefficients can be set to zero with minor impact on precoding performance. Therefore, we focused on reducing the processing complexity of the Moore-Penrose inverse of sparse channel matrices [4].

The spectral efficiency cumulative distribution function (CDF) plot per cell using our approach and applying different power thresholds is depicted in the figure. As can be seen, setting the channel components per user with respect to the strongest component at -30 dB results in not only a reasonable efficiency as compared to the case where singular value decomposition (SVD) is used for the Moore-Penrose inverse of the channel matrix, but also in a low complexity precoding algorithm.

Literature:

- [1] Schaich, F. et al.: Fantastic 5G: 5G-PPP Project on 5G Air Interface below 6GHz. In: *Proc. IEEE Eur. Conf. Networks and Commun.*, July 2015
- [2] Osseiran, A. et al.: Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications. In: *IEEE Wireless Comm. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014
- [3] Courrieu, P.: Fast Computation of Moore-Penrose Inverse Matrices. Neural Information Processing, 2005
- [4] Ahmadian, A. M.; Zirwas, W.; Siva Ganeshan, R.; Panzner, B.: Low Complexity Moore-Penrose Inverse for Large CoMP Areas with Massive MIMO Channel Matrices. In: *Proc. IEEE PIMRC 2016*, Sept. 2016



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

Low Complexity Codes for Channel Resolvability

Rana Ali Amjad



Die Sicherheit auf physikalischer Ebene hat in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Eines der fundamentalen Modelle hinsichtlich dieser Sicherheit ist das Wiretap-Kanalmodell. Obwohl die guten Sicherheitseigenschaften des Wiretap-Kanals schon 1975 nachgewiesen wurden, gab es seitdem nur wenige Fortschritte bei der Entwicklung geeigneter Codes. Eine solche Codierung muss zwei Komponenten zusammenbringen, zum einen die Zuverlässigkeitscodierung (man spricht hier auch von Kanalcodierung), zum anderen die Codierung zur Kanalauflösung (*Channel Resolvability*).

Im Folgenden beschäftigen wir uns ausschließlich mit dem zweiten Problem, der Codierung hinsichtlich der *Channel Resolvability*. Wir schlagen in [5] eine Codierung vor, die wie in der Grafik dargestellt aus zwei verschachtelten linearen Komponenten besteht. Der erste Komponentencode hat hinreichend gute Eigenschaften hinsichtlich der Minimaldistanz. Der zweite Code ist an den ersten angepasst und wird durch eine Zufallsmatrix mit nur wenigen Einsen charakterisiert.

Channel resolvability deals with the problem of minimizing the input entropy needed to approximate a target distribution at the output of a channel [1]. Various measures including normalized informational divergence, un-normalized divergence and total variational distance have been used in the literature to measure the quality of approximation. Channel resolvability finds its application in physical layer security [2], identification via channels [1] and coordination [3].

The minimum input entropy required was shown to be the minimum mutual information between the input and output for one channel use subject to the constraint that the output distribution matches the target distribution [1]. A simple proof was presented in [4].

The design of explicit codes for the problem has been addressed only recently. Polar codes and other code classes that are asymptotically optimal have been proposed in the literature. The lowest complexity of codes is $O(n \log n)$. In our work we focused on designing codes for independent and identically distributed input bits to the encoder and discrete memoryless channels (DMC).

A careful look at the proof in [4] reveals that, for a random code ensemble to be asymptotically optimal, the important property it needs to satisfy is the pairwise independence over the ensemble of codewords assigned to different inputs. The random linear code (RLC) ensemble introduced by Gallager to prove the channel coding theorem satisfies this property, hence it is asymptotically optimal for channel resolvability. The encoding complexity is $O(n^2)$.

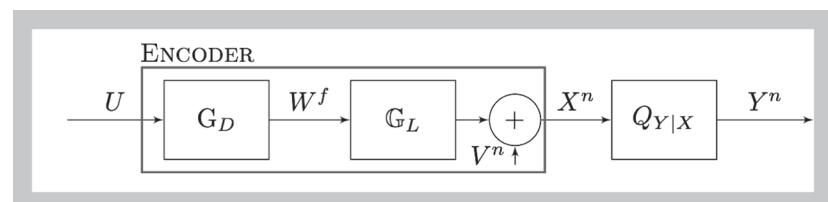
In our work [5], we proposed an encoder consisting of two concatenated linear components. The structure of the encoder is shown in the figure below. The first component is a linear code satisfying certain minimum distance properties. The second component consists of a sparse random matrix. The two components are designed so that the concatenated code approximates the pairwise independence property closely enough so that we can extend the proof in [4] for our construction.

In the design of the encoder, one can trade off the performance and complexity of the two individual components by choosing the required minimum distance for the first component and the sparsity of the second component. By tuning the parameters carefully and using a channel code with low encoding complexity such as LDPC codes, one can guarantee an encoding complexity of $O(n \log n)$.

In future work, we aim to combine this coding technique for channel resolvability with the state-of-the-art channel codes to design low complexity capacity achieving secrecy codes for wiretap channels [6].

Literature:

- [1] Han, T. S.; Verdú, S.: Approximation Theory of Output Statistics. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 39, no. 3, pp. 752-772, May 1993
- [2] Bloch, M. R.; Laneman, J. N.: Strong Secrecy from Channel Resolvability. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 12, pp. 8077-8098, Sept. 2013
- [3] Cuff, P.; Permuter, H. H.; Cover, T. M.: Coordination Capacity. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 56, no. 9, pp. 4181-4206, Sept. 2010
- [4] Hou, J.; Kramer, G.: Informational Divergence Approximations to Product Distributions. In: *Proc. 13th Can. Workshop on Inf. Theory (CWIT)*, Toronto, Canada, June 2013
- [5] Amjad, R. A.; Kramer, G.: Channel Resolvability Codes based on Concatenation and Sparse Linear Encoding. In: *Proc. IEEE Int. Symp. on Inf. Theory (ISIT)*, Hong Kong, June 2015
- [6] Wyner, A. D.: The Wire-tap Channel. In: *The Bell System Technical Journal*, pp. 1355-1387, Oct 1975



Problem Setup and Concatenated Encoder

Analysis of List-Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon, Gabidulin and Subspace Codes

Hannes Bartz

Reed-Solomon (RS) Codes sind zur Fehlerkorrektur in Übertragungs- und Speichersystemen weit verbreitet. Punktierte RS-Codes können doppelt so viele Fehler korrigieren als herkömmliche RS-Codes. Zwei interpolationsbasierte Decoder für punktierte RS-Codes werden analysiert und verglichen. Beide Decoder sind äquivalent, was gleichermaßen bedeutet, dass bei gleicher Fehlerkorrekturleistung der weniger komplexe Decoder verwendet werden kann. Die Äquivalenz der Decodierverfahren konnte ebenso für die verwandten Gabidulin-Subspace-Codes gezeigt werden.

Reed-Solomon (RS) codes over a finite field F_{q^m} are used in many applications. By choosing the code locators from a subfield F_q a *punctured* RS code is obtained. It has been shown in [1] that punctured RS codes can be seen as interleaving of m codewords of an RS code over F_{q^m} (Scheme I). It is known that m -interleaved RS codes can correct up to $t \leq m/(m+1) \cdot (d-1)$ errors, where d is the minimum distance of the code.

As shown in the figure this is almost twice as many errors as standard algorithms like Berlekamp-Massey for a large interleaving order m .

Interpolation-based list-decoding of m -interleaved RS codes consists of two steps. In the *interpolation step* a $(m+1)$ -variate polynomial fulfilling certain interpolation constraints must be constructed. The list of candidate message polynomials is then obtained in the *root-finding step*. The computational complexity is at most $O(m^2 n^2)$ operations in F_q , where n is the code length.

A different list-decoding approach for punctured RS codes was proposed in [2]. Since the code locators are from the subfield F_q , the element-wise q -powers of a code-word result in a codeword of the same code. Hence, we can create a *virtual m -interleaved* code over the big field F_{q^m} (Scheme V) at the decoder.

Applying the decoder for Scheme I to this virtual interleaved code gives the same error correction performance as for Scheme I. The computational complexity is at most $O(m^2 n^2)$ operations in the *big field* F_{q^m} . Using a straight-forward implementation, one multiplication in F_{q^m} requires m^2 multiplications in the subfield F_q , which implies that Scheme I requires less operations than Scheme V.

We analyzed and compared Scheme I and Scheme V, and showed that during the decoding process the same system of equations over F_q is solved. Hence, the two decoding schemes are equivalent, i.e., for the same input the decoders return the same output [3]. This allows to choose the decoder with the lower complexity. The following example compares the complexity of Scheme I and Scheme V.

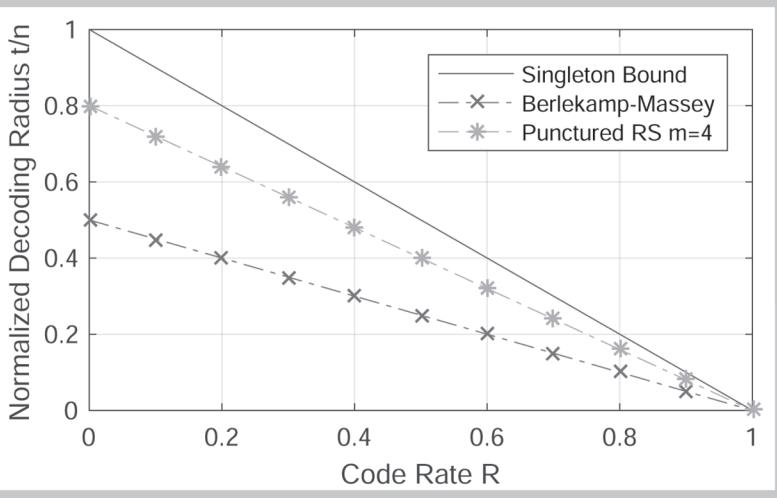
Example: Consider a punctured RS code over the field $F_{q^m} = F_{2^{32}}$ with locators from the subfield $F_q = F_2$. This code can be seen as a 4-interleaved code over the subfield F_2^8 and can correct up to $t \leq 4/5 \cdot (d-1)$ errors. The complexity of Scheme I is at most $O(16n^2)$ operations in the subfield F_q . Using a standard implementation of multiplications, Scheme V requires at most $O(256n^2)$ operations in the subfield F_q , which is significantly more than Scheme I.

We analyzed Scheme I and Scheme V for punctured Gabidulin codes and showed that the two decoding schemes are also equivalent. This result applies directly to the decoding of punctured Koetter-Kschischang subspace codes, which are constructed from punctured Gabidulin codes.

This project is a joint work with Vladimir Sidorenko (see p. 58).

Literature:

- [1] Sidorenko, V.; Schmidt, G.; Bossert, M.: Decoding Punctured Reed-Solomon Codes up to the Singleton Bound. In: *Proc. 7th Int. ITG Conf. on Source & Channel Coding (SCC)*, Jan 2008
- [2] Guruswami, V.; Xing, C.: List Decoding Reed-Solomon, Algebraic-Geometric, and Gabidulin Subcodes up to the Singleton Bound. In: *Proc. Electronic Colloq. Comp. Complexity*, 2012
- [3] Bartz, H.; Sidorenko, V.: On Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon, Gabidulin and Subspace Codes. In: *Redundancy 2016*, St. Petersburg, Sept. 2016



Normalized decoding radius t/n over the code rate R for interleaving order $m = 4$

Massive MIMO and Network MIMO in a Local Area Scenario

Stefan Dierks



Unter Massive MIMO versteht man die Nutzung einer großen Menge von Antennen bei den Basisstationen. Damit lässt sich auch mit einfachen Sendeverfahren eine hohe spektrale Effizienz und ein Durchsatz nahe der Kapazität erreichen. Ein guter Kompromiss zwischen Hardwarekosten und Durchsatz ist die Bereitstellung von zweimal so vielen Antennen an den Basisstation wie Nutzern.

Wir vergleichen im 3GPP-Kanalmodell für Bürogebäude eine einzelne zentrale Massive MIMO Basisstation mit einem Netzwerk aus verteilten MIMO Basisstationen, die über den Backhaul zu einer virtuellen Basisstation zusammengeschlossen sind. Dabei zeigt sich, dass mit verteilten Basisstationen ein höherer Durchsatz möglich ist.

One goal of new mobile communication standards (e.g. 5G) is to increase the spectral efficiency per unit area or volume. One way to increase spectral efficiency is by using multiple-input multiple-output (MIMO) methods. MIMO allows one node to transmit several streams to one or more user equipments (UE) using spatial degrees-of-freedom. Massive MIMO, a vast over-provisioning of base station (BS) antennas, lets simple transmission schemes achieve large performance gains over today's systems [1].

Most massive MIMO studies consider wide area outdoor deployments. However, most mobile traffic is generated by indoor users [2]. We analyze the performance of centralized and distributed deployments with and without cooperation for the 3GPP two stripe office building.

We observe that a ratio of twice as many BS antennas as UEs provides most of the massive MIMO benefits. We further find that this ratio is a good trade-off between number of antennas versus spectral efficiency. Placing a single massive MIMO base-station at the center of a building is intuitively not an optimal choice as the

UEs suffer from large transmitter-to-receiver distances and high wall penetration losses. We compare this deployment to distributed BSs with cooperation. We observe that distributed BSs with cooperation achieve a substantial performance gain at the cost of a backhaul connection.

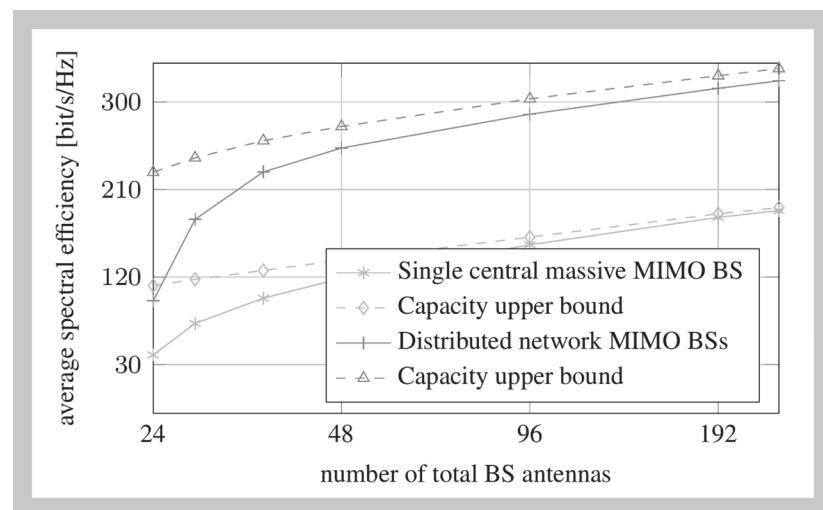
Suboptimal transmission schemes approach a capacity upper bound with an increasing number of BS antennas. The upper bound uses a broadcast channel (BC) with a sum power constraint. In other words, we allow all BSs of a deployment to cooperate and to act as one BS with distributed antennas, and relax the per-BS power constraint to a sum power constraint. We find the optimal transmission policy with the algorithms in [3].

In the figure, the average spectral efficiencies and the capacity upper bounds of a single central massive MIMO BS and distributed network MIMO BSs are shown. The number of UEs is 24. For a ratio of two BS antennas per UE the gap between the capacity upper bound and our schemes is already small and a good trade-off between performance and number of BS antennas is achieved. Scheduling improves performance if there are fewer than twice as many BS antennas as UEs.

In summary, the same performance is achieved by a single massive MIMO BS or by distributed BSs with cooperation and less antennas. The costs of antenna elements can be traded off with the costs for a backhaul to achieve the same performance. A ratio of twice as many BS antennas as served UEs offers many of the massive MIMO benefits. A spectral efficiency close to the capacity is achieved with a simple transmission scheme.

Literature:

- [1] Marzetta, T.L.: Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas. In: *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010
- [2] Zhang, J.; de la Roche, G.: Technologies and Deployment. Eds., Femtocells, Wiley, 2013
- [3] Jindal, N.; Rhee, W.; Vishwanath, S.; Jafar, S.A.; Goldsmith, A.: Sum Power Iterative Water-filling for Multi-antenna Gaussian Broadcast Channels. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 4, pp. 1570–1580, Apr. 2005



Average spectral efficiencies and capacity upper bounds in the 3GPP two stripe office building

Privacy and Security with Hidden Biometric and Physical Identifiers

Onur Günlü

Untersucht werden Verbesserungen hinsichtlich der Kapazitätsregion des Schlüsselverlustspeichers durch Mehrfachmessung versteckter biometrischer und physikalischer Identifikatoren. Sicherheitslücken werden für den Fall veranschaulicht, wenn die Quelle fälschlicherweise als sichtbar betrachtet wird.

Biometric identifiers with unique random features are used to authenticate or identify a user, or to generate secret keys. Similarly, physical identifiers such as fine variations of ring oscillator (RO) or static random-access memory (SRAM) outputs produce device “fingerprints” that are used for intellectual property protection, device authentication, and secret-key generation. Replacing biometric or physical identifiers, e.g., if the fingerprint is stolen, is often not possible or it might require reconfigurable identifier designs. We study information-theoretic limits for such identifiers and propose lightweight transform coding algorithms to implement a key-binding scheme for identifiers.

We investigate an identifier model where two terminals observe dependent random variables and use a pub-

lic message to agree on a secret key while an eavesdropper sees only what is transmitted over the public channel. The model is based on the secret sharing concept introduced in [1] and has two variants. Either a secret key is conveyed to the decoder (i.e. the chosen-secret model) or the source is used to extract a key (i.e., the generated-secret model). For both models, public communication is limited to a single message called “helper data”. Its size should be small to minimize public storage and it should leak a negligible amount of information about the secret key and as little information as possible about the random source [2], [3].

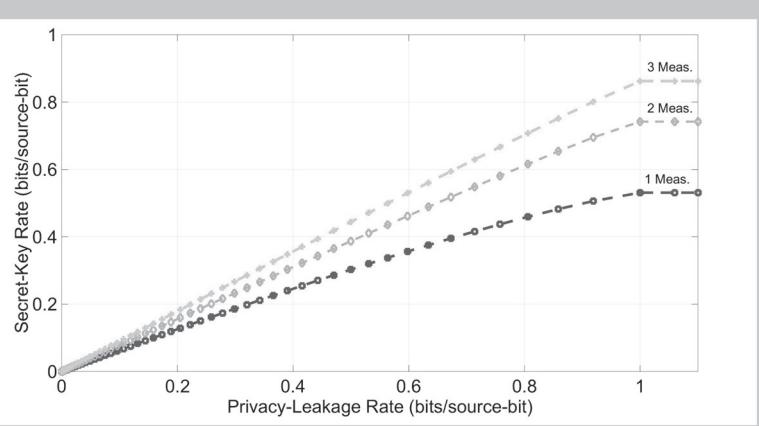
The secret-key, privacy-leakage, storage (key-leakage-storage) capacity regions for the two models are obtained, where communication is through a one-way, authenticated, public and noiseless channel. The capacity analysis requires optimizing an auxiliary random variable U that satisfies a Markov property. For example, consider a doubly symmetric binary source with symbols emitted according to a probability distribution P_{XY} , where X is the source output and Y is the noisy measurement of the source. We use Mrs. Gerber's lemma to show that a binary symmetric channel (BSC) from U to X is optimal, and evaluate the key-leakage-storage capacity regions for multiple measurements of an identifier.

One obtains a diversity gain, corresponding to a gain in reliability, from multiple measurements to combat erroneous measurements. Diversity increases reliability by averaging over different channels. Diversity gain in secrecy systems also lets one substantially decrease privacy leakage and public storage since less side information is required to reconstruct the secret key at the decoder. One can exploit the additional degrees of freedom by increasing the extracted secret-key size. This gain can be viewed as a multiplexing gain, in analogy to multiple antenna systems.

We illustrate the gains from multiple measurements at the decoder by considering $P_{Y|X}$ as a BSC with crossover probability p . The figure below plots the key-leakage regions for the chosen-secret model. Consider $p = 0.1$ and $M = 1, 2, 3$ independent decoder measurements. For a secret-key rate of $R_s = 0.2$ bits/source bit, the minimum privacy-leakage rates for $M = 2$ and $M = 3$ are about 20% and 31% less than the single-measurement case, respectively. One can even attain secret-key/privacy-leakage ratios close to 1 (the maximum possible ratio for the chosen-secret key-leakage region) by increasing M . For the same crossover probability p , the maximum secret-key rate increases by about 42% for $M = 2$ and 66% for $M = 3$ as compared to the single measurement case.

Literature:

- [1] Ahlswede, R.; Csiszar, I.: Common Randomness in Information Theory and Cryptography. Part I: Secret Sharing. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 39, July 1993
- [2] Ignatenko, T.; Willems, F. M. J.: Biometric Systems: Privacy and Secrecy Aspects. In: *IEEE Trans. Inf. Forensics and Security*, vol. 4, Dec. 2009
- [3] Günlü, O.; Kramer, G.; Skórski, M.: Privacy and Secrecy with Multiple Measurements of Physical and Biometric Identifiers. In: *IEEE Conf. Com. and Network Sec*, Sept. 2015



The key-leakage region for the chosen-secret model with $p = 0.1$

Information Rates of Matching Circuits for Compact Antenna Arrays

Andrei Stefan Nedelcu



Antennen-Arrays sollten aus Platzgründen möglichst kompakt gestaltet werden, aber zu kurze Abstände zwischen den Antennen bewirken Kopplungen und Korrelationen, wodurch die Informationsrate begrenzt wird. Durch Anpassungsschaltungen beim Sender oder beim Empfänger können die Antennen entkoppelt und somit die gegenseitige Information zwischen dem (abgetasteten) Sendesignal und dem Empfangssignal maximiert werden. Wir betrachten hier sowohl Schmalband- als auch Breitbandsignale.

Die Kommunikationskette wird bei unseren Untersuchungen gemäß der Netzwerktheorie modelliert, und es wird der Einfluss aller relevanten Rauschquellen betrachtet. Für den physikalischen (und stets stochastischen) Kanal verwenden wir das Kronecker-Modell [1], so dass die gesamte Kanalkorrelationsmatrix in unabhängige Korrelationsmatrizen für Sender und Empfänger aufgeteilt werden kann.

Fazit unserer Untersuchungen ist, dass das Anpassungsnetzwerk durch eine Diagonalmatrix dargestellt werden kann, wobei die Diagonalkoeffizienten optimal an die Rauscheigenschaften angepasst sind. Es handelt sich also um eine MIMO-Erweiterung der SISO-Konfiguration.

Weiterhin zeigt sich, dass diese Multiport-Anpassung die Antennen dekorreliert und durch das konjugiert-komplexe Matching die maximale Leistung und die maximale Information von den Antennen zu den rauscharmen Verstärkern gelangt [2], [3].

Antenna arrays should be made compact to save space, but antenna proximity causes antenna coupling and correlations, which may reduce information rates. Matching circuits placed at the transmitter and receiver antennas serve to de-couple the antennas, or even better to maximize the mutual information between the transmitted and the received signals

after sampling. We investigate narrowband and broadband signals.

The antenna array is matched to subsequent RF amplifiers by means of multiport circuits. Current work focuses on lossless matching circuits and determines conditions that these optimal circuits should satisfy in order to maximize information rates.

The communication chain is modeled in detail from a circuit theory perspective and the impacts of all relevant random noise sources are considered.

The physical channel is generally stochastic and is modeled with the widely known Kronecker model [1]. The Kronecker model assumes that the full channel correlation matrix factorizes into independent transmit and receive correlation matrices. Furthermore, the channel coefficients are Rayleigh distributed. This model is used for simplicity as well as for incorporating desired properties despite the fact that it has known limitations in predicting capacity in real life scenarios.

The conclusion is that the optimal source impedance as presented by the matching network is a diagonal matrix with the individual amplifiers' noise matched impedance on the diagonal (a MIMO extension of the SISO case). This multiport matching decorrelates the antennas and assures

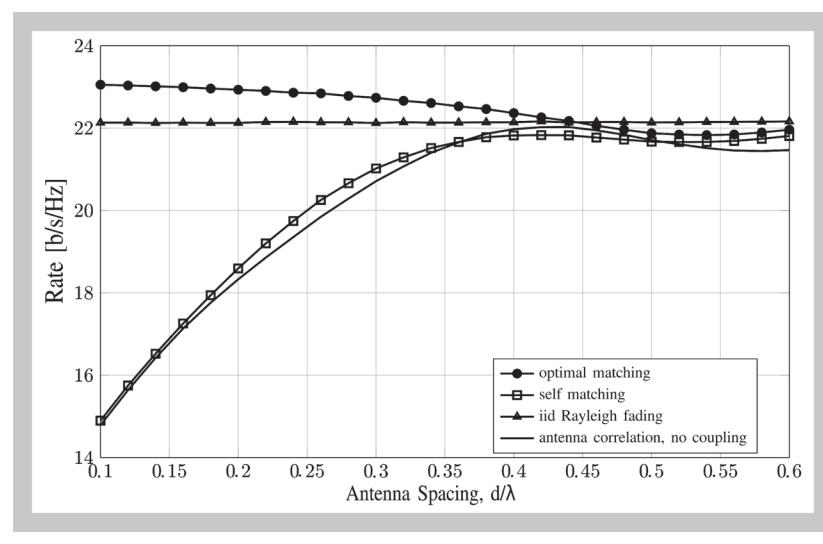
a conjugate match which enables maximal power and information transfer from the antennas to the low noise amplifiers [2], [3].

The figure shows the information rates achievable with different matching strategies as a function of the antenna spacing. Optimal matching recovers all gains from multiplexing even with very small spaces.

Further work aims at evaluating and designing suboptimal matching networks that offer lower circuit complexity and larger operational bandwidth.

Literature:

- [1] Oestges, C.; Clerckx, B.: MIMO Wireless Communications: From Real-world Propagation to Space-time Code Design. Academic Press, 2010
- [2] Wallace, J. W.; Jensen, M.: Mutual Coupling in MIMO Wireless Systems: a Rigorous Network Theory Analysis. In: *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, no. 4, July 2004
- [3] Ivrlac, M.T.; Nossek, J.A.: Toward a Circuit Theory of Communication. In: *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 57, no. 7, pp. 1663–1683, July 2010



Uniform Power Allocation

Information Theory for Quantized and Distributed Compressive Sensing

Lars Palzer

Compressed Sensing ist ein neuer Ansatz zur effizienten Messung und Speicherung natürlicher Signale. Dies führt unter anderem zu hochwertigeren und schnelleren Verfahren in der medizinischen Bildgebung.

In dem DFG-Forschungsprojekt „Informationstheorie und Rekonstruktionsalgorithmen für quantisiertes und verteiltes Compressed Sensing“ untersuchen wir gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Angewandte Numerische Analysis der Fakultät für Mathematik an der TUM die fundamentalen Grenzen der Effizienz der Datenkomprimierung solcher analoger Signale. Die Ergebnisse dienen einerseits zur Auswertung praktischer Verfahren, andererseits geben sie Einblicke darüber, wie diese Grenzen erreicht werden können.

Compressed Sensing (CS) is a mathematical theory that addresses the efficient acquisition and representation of natural signals that exhibit a certain structure. Consider, for ex-

ample, an image taken by a digital camera. One way to represent this picture is by storing the brightness levels for each pixel in three different colors. However, neighbouring pixels are not independent and the brightness of one pixel reveals information about the pixels surrounding it.

A more efficient way of representing the image is by applying a transform (such as the wavelet transform) that reveals the structures contained in the image and then storing this information efficiently. The theory of compressive sensing shows that it is in fact not only possible to represent the structured data efficiently, but that one can directly measure only the necessary information. This has led to improvements in areas, such as medical imaging, where measurements are costly.

The classic CS literature is concerned mainly with analog compression, i.e., taking a small number of linear measurements from a signal of large dimension. Any digital system, however, must quantize the analog signal to store the information.

Within the framework of the DFG project *Information Theory and Recovery Algorithms for Quantized and Distributed Compressed Sensing*, a

joint project with Prof. Fornasier from the TUM chair in Applied Numerical Analysis, our goal is to explore the fundamental limits of data compression for signals that fit into the compressed sensing framework. That is, we would like to provide insight into questions such as “how many bits do we need in order to store an image at a given quality?”

Shannon’s seminal paper [3] characterized the best coding rates for lossy data compression. Unfortunately, this characterization does not often lead to closed-form solutions and one has to resort to upper and lower bounds to gain insight.

We studied spike sources or Bernoulli-Gaussian information sources that create a sequence of zeros and Gaussian random variables. This class of sources is a reasonable model for the output of a wavelet transform of an image. Since such a source is neither discrete nor continuous but rather mixed, many previously derived results are not applicable. By introducing additional constraints and leveraging the results obtained in this setting, we were able to derive a new lower bound for all spike sources, see the figure.

In the future, we plan to investigate more general source setups such as multiple correlated sources. Furthermore, using the theoretical results we would like to explore whether practical CS systems can approach the theoretical limits.

Literature:

- [1] Candès, E.; Romberg, J.; Tao, T.: Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction from Highly Incomplete Frequency Information. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 2, pp. 489–509, Feb. 2006
- [2] DFG SPP 1798 (CoSIP) Priority Programme, <https://www.ti.rwth-aachen.de/SPP1798/index.html>
- [3] Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication. In: *The Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July 1948

Coding rates for the Bernoulli-Gaussian spike source

Discrete Signaling for Non-Coherent, Single-Antenna, Rayleigh Block-Fading Channels

Marcin Pikus

Betrachtet wird die Übertragung über den zeitdiskreten Rayleigh-Block-Fading-Kanal (RBFC). Das heißt, dass alle Symbole eines Blocks das gleiche Fading erfahren und dass das Fading zwischen verschiedenen Blöcken unabhängig ist.

Die hierüber ohne Kanalzustandsinformation (CSI) übertragbare Informationsrate hängt in starkem Maße von der Struktur des Eingangssignals ab.

Wir haben eine verschachtelte Monte-Carlo-Methode entwickelt, die es uns ermöglicht, die Transinformation des RBFC bei diskretem Eingangssignal zu bestimmen. Unser Konzept ist bei mittlerem SNR den aus der Literatur bekannten Ansätzen *Unitary Space-Time Modulation* und *Gaussian IID* deutlich überlegen. Zudem ist sie auch bei Breitbandsystemen optimal hinsichtlich erster und zweiter Ordnung. Wir schlagen ein diskretes Signalisierungsschema in Produktform vor, das jeden Block als einen Nullvektor oder als Vektor skaliert 4-PSK-Symbole sendet.

Block fading channels model wireless channels with high symbol rate where the channel coherence time is longer than the symbol duration. The fading experienced by consecutive symbols is thus correlated, i.e., the channel has memory. The Rayleigh Block Fading Channel (RBFC) models memory via no fading within a block of T consecutive symbols and via independent block-to-block fading. This model, with no channel state information (CSI) at the transmitter and receiver, mimics wireless scenarios where the receiver must estimate both the channel state and the data from the received symbols.

Despite extensive research, the channel capacity remains unknown. However, the structure of the capacity-achieving signaling is known [1]: send discrete per-block power modulation and, conditioned on the block power, isotropically distribut-

ed vectors. Various other signaling strategies have been studied in the literature.

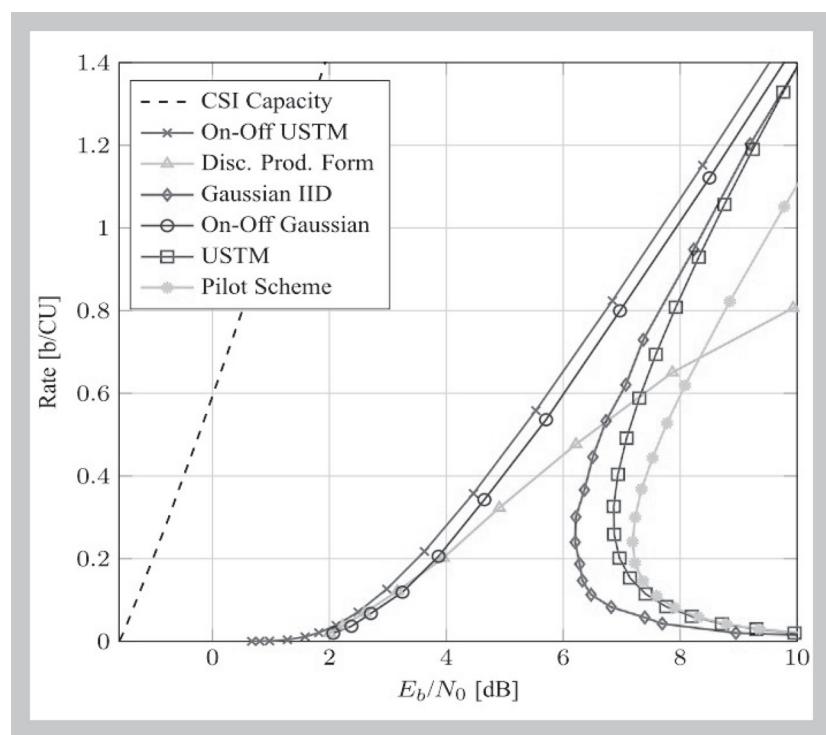
- Pilot schemes in [2];
- Unitary Space-Time Modulation (USTM) in [3]; and
- Gaussian signals in [4].

The information that can be transmitted via the channel without CSI is influenced by the structure of the input signal. We propose a discrete signaling scheme, called *Discrete Product Form*, which mimics the optimal continuous product form distribution. The scheme transmits in every block either a vector of 0's or a vector of scaled 4-PSK symbols. We developed a nested Monte-Carlo method for computing the mutual information estimates over the Rayleigh Block Fading Channel (RBFC) with discrete input constellations. Our scheme achieves significantly better power efficiency than the continuous Gaussian IID and USTM input signals in the mid-to-low SNR regime. The scheme is also first and second order optimal in the wideband regime.



Literature:

- [1] Marzetta, T.; Hochwald, B.: Capacity of a Mobile Multiple-antenna Communication Link in Rayleigh Flat Fading. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 45, no. 1, pp. 139–157, Jan. 1999
- [2] Hassibi, B.; Hochwald, B.: How much Training is needed in Multiple-antenna Wireless Links? In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 4, pp. 951–963, Apr. 2003
- [3] Hochwald, B.; Marzetta, T.: Unitary Space-time Modulation for Multiple-Antenna Communications in Rayleigh Flat Fading. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 2, pp. 543–564, Mar. 2000
- [4] Rusek, F.; Lozano, A.; Jindal, N.: Mutual Information of IID Complex Gaussian Signals on Block Rayleigh-faded Channels. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 1, pp. 331–340, Jan. 2012



Information rate for block lenght $T=2$

Polar Codes for Probabilistic Amplitude Shaping (PAS)

Tobias Prinz

Polarcodes erreichen für unendlich lange Blocklängen die Kanalkapazität [1]. Durch das Verwenden eines nicht gleichverteilten Eingangs für den Gauß-Kanal kann die Sendeleistung um bis zu 1.59 dB reduziert werden. Ein Übertragungssystem mit nicht gleichverteiltem Eingang kann man zum Beispiel durch *Probabilistic Amplitude Shaping* (PAS) und *Constant Composition Distribution Matching* (CCDM) realisieren [2].

Für Modulationsverfahren höherer Ordnung können sog. *Compound Polar Codes* verwendet werden [3]. In [4] stellen wir ein Übertragungssystem mit Compound Polar Codes, CCDM und PAS vor. Die konstruierten Codes zeigen insbesondere für Blocklängen zwischen 128 und 512 Symbolen pro Block eine sehr gute Performance.

Polar codes are capacity-achieving for a binary uniform input and provide low-complexity encoding and decoding algorithms [1]. Polar codes

are based on the polar transformation that generates polarized bit-channels. The polarized channels are either very good or very bad.

The capacity of the additive white Gaussian noise (AWGN) channel can be achieved by a Gaussian input distribution. In current standards, uniformly distributed inputs are used. By using non-uniformly distributed inputs, the transmission power can be reduced by up to 1.59 dB.

A transmission system with non-uniformly distributed channel inputs can be realized by *probabilistic amplitude shaping* (PAS) and *constant composition distribution matching* (CCDM) [2]. At the transmitter, a fixed-to-fixed length, invertible CCDM and a binary linear block code with a systematic encoder combine probabilistic shaping and channel encoding. At the receiver, a demapper outputs bit metrics that are used to perform bit-metric decoding (BMD). The rate of the transmission system can be adapted by varying the input distribution or the code rate of the binary code. We use the scheme for *amplitude shift keying* (ASK) and we consider 2^m -ASK constellations. The scheme can also be adapted for *quadrature amplitude modulation* (QAM).

We use compound polar codes as the binary code for our transmission system [3]. In [4], we present an efficient way to construct such codes for high-order modulation based on Gaussian approximations and Gaussian surrogate channels. Furthermore, we use an efficient way of decoding compound polar codes by using the same decoders as for polar codes for the binary input AWGN channel with some modifications.

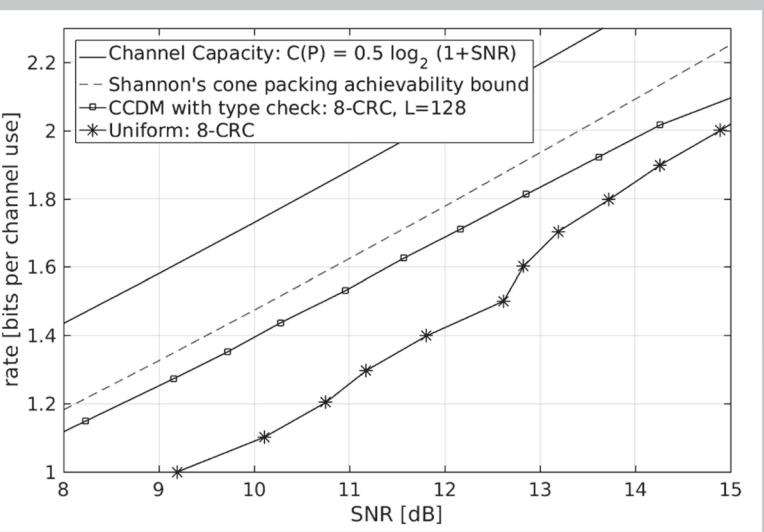
In order to construct a systematic encoder for compound polar codes and to optimize the codes for PAS, we introduce an iterative construction method. We construct the codes several times and after each iteration we do some permutations on the codeword bits.

Especially for block lengths between 128 and 512 symbols, our codes show very good performance. They outperform the state of the art LDPC and Turbo codes for PAS and they operate within 0.5–0.8 dB of Shannon's cone packing achievability bound.

Thus, polar codes operate very close to the theoretical limits for a wide range of SNR values, see the figure below.

Literature:

- [1] Arikan, E.: Channel Polarization: A Method for Constructing Capacity-achieving Codes for Symmetric Binary-input Memoryless Channels. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, July 2009
- [2] Böcherer, G.; Steiner, F.; Schulte, P.: Bandwidth Efficient and Rate-matched Low-density Parity-check Coded Modulation. In: *IEEE Trans. Commun.*, Dec 2015
- [3] Mahdavifa, H.; El-Khamy, M.; Lee, J.; Kang, I.: Polar Coding for Bit-interleaved Coded Modulation. In: *IEEE Trans. Veh. Technol.*, May 2016
- [4] Prinz, T.: Polar Codes for Higher-order Modulation and Probabilistic Amplitude Shaping. *Master's thesis*, LNT/TUM, June 2016



Rate Curves for 8-ASK with 128 symbols per block and a code rate of 3/4 evaluated for a frame error rate of 10^{-3}

Practical Distribution Matching Schemes

Patrick Schulte



Heutige Kommunikationssysteme, die Modulationen höherer Ordnung verwenden, nutzen die verfügbaren Konstellationenpunkte mit gleich großer Wahrscheinlichkeit. Die größte spektrale Effizienz kann allerdings nur dann erreicht werden, wenn die Konstellationspunkte mit einer kanalspezifischen empirischen Verteilung gewählt werden, die den Transinformationsgehalt maximiert. Dies entspricht im Allgemeinen nicht einer Gleichverteilung. Mit der Veröffentlichung der Methode *Probabilistic Amplitude Shaping* ergibt sich die Möglichkeit, die Kanalcodierung und die Modulation so zu verbinden, dass die Verteilung der Konstellationspunkte unabhängig vom gewählten linearen Code wird und komplett durch ein Modul bestimmt werden kann, das wir *Distribution Matcher* nennen. Ziel der hier dargelegten Forschungsarbeit war es, einen praktischen Distribution Matcher zu bauen, der die gewünschte Verteilung zufriedenstellend genau annähert.

The shaping gap is the difference between the channel capacity and the information rate for uniform signaling. Approches to overcome the shaping gap can be divided coarsly into two groups, namely

- probabilistic shaping, and
- geometric shaping.

Geometric shaping places constellation points unevenly in order to form a certain distribution at the channel output. Probabilistic shaping tries to adapt the statistics of evenly spaced constellation points, i.e., QAM constellations. Recently a new coded modulation scheme was proposed in [1] that modifies existing schemes by adding a module that is called a distribution matcher. The aim of a distribution matcher is to transform a uniformly distributed input sequence of bits into a sequence of symbols with a desired distribution. It therefore preselects a set of codewords from the linear code that are used for

error correction. Information about the distribution helps at the decoder to recover the original message.

We developed and implemented a block-to-block constant composition distribution matcher (CCDM). While adaptive arithmetic distribution matching (AADM) [3] manipulates the output distribution using entropy cost functions in the probabilistic model of an arithmetic decoder, CCDM allows only output sequences of a certain type, meaning that all output blocks have the same empirical distribution. Allowing only output sequences of one type seems to violate the aim of approximating a discrete memoryless source. However, it turns out that the normalized informational divergence between the sequence distribution and the target distribution approaches zero and the rate reaches the entropy rate of the corresponding DMS as the output blocklength grows.

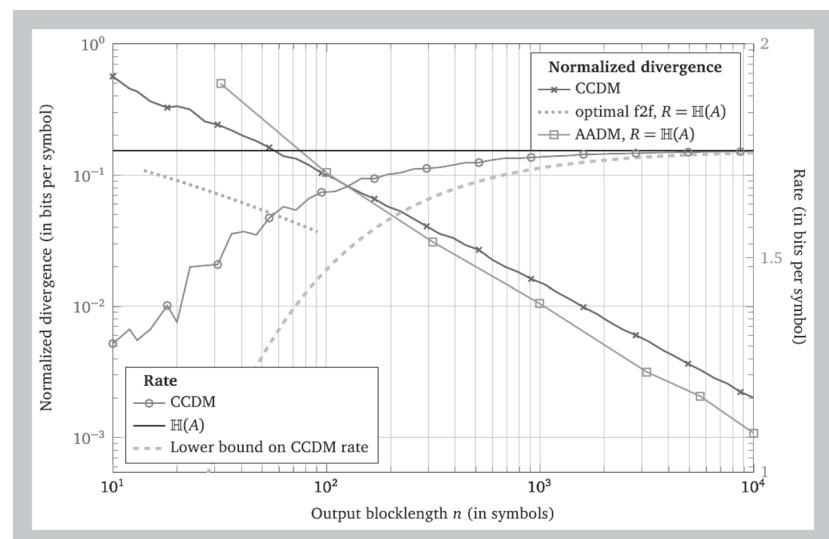
As shown in the figure below, the number of types of a sequence grows polynomially with the blocklength while the number of possible output sequences grows exponentially with the output length [2]. Thus, the number of elements with a certain type must grow exponentially as well. Indexing the output sequences of

one particular type is done using sequential arithmetic coding techniques.

For future work, we want to investigate other algorithms to implement a distribution matcher. Here, we have to consider the tradeoff between computational complexity and accurate approximation. We hope to obtain highly parallelizable algorithms that can be implemented efficiently in hardware.

Literature:

- [1] Böcherer, G.; Steiner, F.; Schulte, P.: Bandwidth-efficient and Rate-matched Low-density Parity-check Coded Modulation. In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 12, pp. 4651-4665, Dec. 2015
- [2] Csiszár, I.; Shields, P.C.: *Information Theory and Statistics: A Tutorial*. Now Publishers Inc, 2004
- [3] Schulte, P.: Zero Error Fixed-to-Fixed Length Distribution Matching. Master's thesis, Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, TU München, Oct. 2014



Comparison of divergence performance: ccdm, aadm and optimal fixed length distribution matching

Massive MIMO Transmitter Design

Markus Staudacher

Im Zuge der Nachfrage nach immer größeren Datenraten im Mobilfunk sind Mehrantennensysteme mit über hundert Antennen an der Basisstation ein wichtiger Baustein. Mit steigender Antenzahl steigen auch die Kosten und der Energieverbrauch der Basisstation. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit Nokia Bell Labs werden Mehrantennensysteme untersucht, deren Antennen deutlich vereinfachte Radiofrequenz-Übertragungsstrecken besitzen. Konkret bedeutet dies, dass der Digital-zu-Analog-Wandler nur eine Auflösung von einem Bit besitzt und unter Umständen noch einige Bits für die Phase des Signals bereitgestellt werden. Jede Antenne hat also eine feste Ausgangsleistung. Ziel des Projekts ist die Evaluierung und Optimierung des Systems.

Massive multiple-input-multiple-output (MIMO) promises to deliver high spectral efficiency with low energy consumption [1]. The theory for massive MIMO is studied in [2]. An uplink system with 1 bit analog-to-digital converters (ADCs) at the receiver approaches capacity when using QPSK [3], [4]. Several ap-

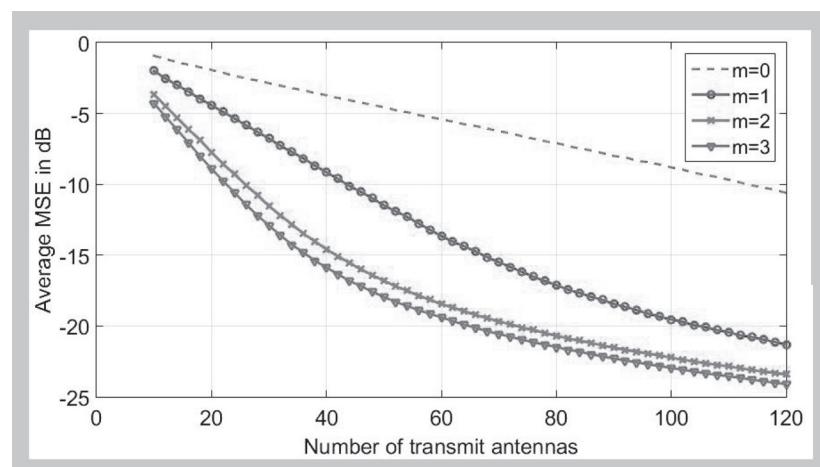
proaches simplify the implementation while preserving some of the gains. For example, a simple idea is to use only one antenna at the base station (BS) at each time instant to transmit, so that the transmitter (TX) needs only one radio frequency (RF) chain. As another example, hybrid beamforming reduces the total number of RF-chains to decrease the cost and power consumption of the BS. We propose a design where a large number of low cost constrained RF-chains (CRFs) cooperate with a small number of full RF-chains (FRFs). In the simplest case the CRFs use on/off switching, thereby requiring minimum functionality like a single bit digital-to-analog converter (DAC), a power amplifier (PA) with relaxed linearity constraints to achieve high power-added efficiencies (PAE), less stringent filter requirements, etc. One interesting use case is to add booster arrays with a large number of CRFs to existing macro sites – the FRFs – to form a hybrid RF (HRF) massive MIMO array. An HRF system can compensate for all the non idealities of the CRFs, as long as the number of FRFs is larger than the number of the served data streams. Compared to hybrid beamforming, one can avoid the analog network and retain full pre-coding flexibility, which is limited for wideband analog beams.

We propose to construct receive signal points by turning on or off selected antenna elements of a massive MIMO array, potentially in combination with adapting the TX-signal phase information (PS) per antenna element. The desired RX-values for multiple user equipments (UEs) are generated via superposition of the TX-signals affected by the antenna specific channel components.

To generate the signals at the receiver with moderate complexity, we developed a suboptimal algorithm following the knapsack problem. The aim is to minimize the mean square error (MSE) at the receiver by activating the antennas one by one. In each step the antenna that minimizes the error is activated until the error stops decreasing. The resulting MSE for 10 UEs and a different number of phase bits (m) is depicted in the figure. Furthermore, we developed an algorithm that minimizes the MSE for a combination of CRF and FRF antennas. We used a modified version of the knapsack algorithm where instead of the distance to one point the distance to a subspace is minimized.

Literature:

- [1] Larsson, E. G.; Edfors, O.; Tufvesson, F.; Marzetta, T. L.: Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems. In: *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, Feb. 2014
- [2] Hoydis, J.; ten Brink, S.; Debbah, M.: Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How many Antennas do we need? In: *IEEE Sel. Areas Commun.*, vol. 31, no. 2, pp. 160–171, Feb. 2013
- [3] Risi, C.; Persson, D.; Larsson, E. G.: Massive MIMO with 1-bit ADC. In: *CorR*, vol. abs/1404.7736, 2014. Online: <http://arxiv.org/abs/1404.7736>
- [4] Mezghani, A.; Nossek, J. A.: Ultra-wideband MIMO Systems with 1-bit Quantized Outputs: Performance Analysis and Input Optimization. In: *2007 IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, pp. 1286–1289, June 2007



MSE at the receiver with constrained RF-chains; m is the number of bits for the phase

Performance and Complexity of Short Polar Codes

Peihong Yuan



Die Erfindung von Polarcodes [1] war ein wichtiger Durchbruch in der Codierungstheorie. Für unendliche Blocklängen erreichen Polarcodes die Kanalkapazität bereits mit sehr niedriger Komplexität. Dagegen funktioniert Polarcodierung bei relativ kurzen Blocklängen (<2000), deutlich schlechter als Turbo- und LDPC-Codes.

Hierfür gibt es zwei Gründe. Zum einen ist der ursprünglich vorgesehene *Successive Cancellation* (SC) Decoder suboptimal. In [2] wird ein List-Decoder für Polarcodes vorgestellt, der die Maximum-Likelihood (ML) Grenze bei hohem Signal-zu-Störleistungsverhältnis erreicht. Zweitens ist die Hammingdistanz von Polarcodes sehr klein. Wir haben drei Methoden gefunden, um die Hammingdistanz zu verbessern:

- a) CRC-Aided Polarcodes [2],
- b) RM-Polarcodes [3],
- c) eBCH-Polarcodes [4].

In [2], a SC-list decoding algorithm for polar codes was proposed. Although the original polar codes can achieve the ML performance by using SC-list decoding, it still performs much worse than Turbo and LDPC codes due to a low minimum distance.

The first idea to fix this distance property is employing a serial concatenation of an error-detecting code and a polar code [2]. We use cyclic redundancy check (CRC) codes in the LTE standard, and the list-decoder that chooses the most likely codeword with a valid CRC. But for CRC-Aided (CA) polar codes it is not clear how the outer codes affect the minimum distance of the concatenated codes.

The second idea is called RM-polar codes [3]. Those codes are constructed by combining the code constructions of Reed-Muller (RM) codes and polar codes. Both RM codes and polar codes are obtained from the same polarization matrix. The RM codes select the information

bits according to the row weight. The bits with the largest weights of their corresponding rows are selected as information bits, and the other bits are selected as frozen bits.

Polar codes select information bits according to the bit error rate. The bit error rate can be estimated by using Monto-Carlo simulation or computed by using Gaussian approximation. The bits with the lowest bit error rate are selected as information bits. The construction of RM-polar codes is half-RM half-polar: First, the bits with small row weights are frozen. Then, we choose the most reliable bits as information bits. Due to better distance properties, RM-polar codes outperform the original polar codes with a large decoding list size. Unfortunately, RM-polar codes are not very flexible, because the minimum Hamming weight of RM codes must be power of two.

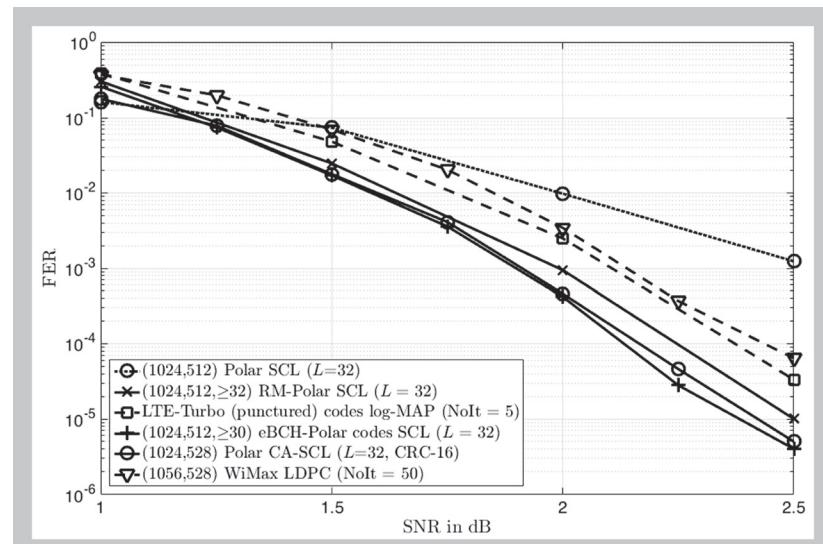
The third idea is a code construction based on extended primitive narrow-sense BCH (eBCH) codes and polar codes by using dynamic frozen bits [4]. The “frozen” bits in eBCH-polar codes are not always frozen (not all zero). Some of them depend on previous information bits. eBCH-polar codes have better distance

properties and are more flexible than RM-polar codes.

The figure below shows that short polar codes with fixed distance properties outperform the LTE Turbo codes and WiMax LDPC codes with lower decoding complexity.

Literature:

- [1] Arikan, E.: Channel Polarization – a Method for Constructing Capacity-achieving Codes for Symmetric Binary-input Memoryless Channels. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051-3073, July 2009
- [2] Tal, I.; Vardy, A.: List Decoding of Polar Codes. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 5, pp. 2213-2226, May 2015
- [3] Li, B.; Shen, H.; Tse, D. A RM Polar Codes. *Online*: <http://arxiv.org/pdf/1407.5483v1.pdf>, July 2014
- [4] Trifonov, P.; Miloslavskaya, V.: Polar Subcodes. In: *IEEE Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 2, pp. 254-266, Feb. 2016



Frame Error Rate (FER) performance of Turbo, LDPC and polar codes with list size L. CRC: cyclic redundancy check. NoIt: Number of Iterations

The last two years of my research group have been mainly characterized by continuity. Only one new researcher, plus one external Ph.D. student, have joined our group in this period.

Yingkan Chen and Elisabeth Oberleithner finished their work on *Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing and Power-line Communications in Vehicles*, respectively. Additionally, Elisabeth gave birth to her son in February 2016. Tobias Fehenberger and Ginni Khanna have successfully continued their work to increase capacity of optical communication systems. Tasnád Kernetzky joined our group in December 2014. He is engaged in the development of a PLC-System for industrial applications. Finally, Amita Shrestha, an external Ph.D. student at DLR, works in the field of *Optical Free Space Communications*.

Die letzten beiden Jahre waren für das Fachgebiet (nach einem Beschluss unserer Fakultät nunmehr „die Professur“) für Leitungsgebundene Übertragungstechnik weitgehend geprägt von der Fortführung früher begonnener Arbeiten. Über sämtliche Projekte wird hier und auf den folgenden Seiten kurz berichtet.

Yingkan Chen hat seine Arbeiten zu Einsatzmöglichkeiten von Orthogonalem Frequenzmultiplex in optischen Übertragungssystemen abgeschlossen. Er arbeitet seit September 2016 bei der Coriant GmbH in München, unserem langjährigen Forschungspartner, auch weiterhin auf dem Gebiet der optischen Kommunikation. In seiner Dissertation (siehe S. 43), die er im April 2016 eingereicht hat, untersuchte Yingkan (im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projekts) optisches OFDM in Weitverkehrssystemen im optischen

Überblick über die Forschungsthemen im Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Norbert Hanik

Zugangsnetz und abschließend (in Zusammenarbeit mit Coriant) neuartige Few-Mode-Fasern. Seine Arbeit besticht durch die sorgfältige Modellierung linearer und nichtlinearer Störeffekte und durch die Erarbeitung und Implementierung unterschiedlicher Algorithmen zu deren Kompensation. Die theoretischen und simulativen Arbeiten werden durch Laborexperimente und ein Feldexperiment ergänzt, letzteres in Zusammenarbeit mit Projektpartnern.

Elisabeth Oberleithner konnte ihre Arbeiten zur Powerline-Kommunikation im KFZ ebenfalls erfolgreich abschließen. Das von ihr konzipierte, und in einem FPGA implementierte System wurde erfolgreich über mehrere Übertragungspfade in einem Fahrzeug bei BMW getestet. Nach der Geburt ihres Sohnes im Februar 2016 ist Elisabeth aktuell im Mutterschaftsurlaub. Wir hoffen, dass ihre Mutterpflichten ihr bald genügend Zeit lassen, ihre Dissertation fertigzustellen.

Tobias Fehenberger hat die Arbeiten zur Untersuchung und Maximierung der Kapazität kohärenter optischer Systeme sehr erfolgreich fortgeführt. Parallel zur Auswertung verschiedener Varianten der Transformation in Systemen mit Hard- oder Soft-Forward-Error-Correction arbeitete er intensiv an Methoden zur Vergrößerung der Kapazität, zum Beispiel durch eine auf S. 73 beschriebene Verfeinerung der Modellierung der Kanalstatistik optischer Systeme.

Weitere Arbeiten erfolgten auf dem Gebiet der Reduktion des Einflusses des Laserphasenrauschen sowie (in Zusammenarbeit mit Dr. Georg Böcherer) zum Einsatz von *Probabilistic Shaping* in optischen Übertragungssystemen. Auf diesen Forschungsgebieten bestehen enge Kooperationen mit dem *University College London* sowie mit der *Chalmers University of Technology* in Göteborg.

Ginni Khanna hat ihre Arbeiten zur Signal-Vorverzerrung zur Kom-

pensation linearer und nichtlinearer Verzerrungen in optischen Sendern erfolgreich fortgeführt. Das von ihr (in Kooperation mit Coriant) implementierte und optimierte Prinzip der adaptiven linearen und nichtlinearen Vorverzerrung zur Kompensation degradierender Effekte in hochratigen optischen Sendern wurde in Laborexperimenten und mehreren Feldexperimenten erfolgreich eingesetzt (siehe S. 75). Seit Juli 2016 werden ihre Arbeiten im Rahmen eines BMBF-Verbundprojekts finanziert.

Tasnád Kernetzky, unser einziger Neuzugang seit Herbst 2014, beschäftigt sich im Rahmen einer Kooperation mit der Siemens AG mit Einsatzmöglichkeiten von Powerline-Datenkommunikation für industrielle Anwendungen (siehe S. 74). In diesem Projekt entwickelt und optimiert er ein flexibles FPGA-basiertes PLC-Modem, das an die Anforderungen in der industriellen Kommunikation optimal angepasst werden kann.

Amita Shrestha, meine externe Doktorandin am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschäftigt sich mit der Optimierung optischer Kommunikationssysteme zwischen Erde und Weltraum, also für Low-Earth-Orbit (LEO) Downlinks.

Abschließend noch eine kleine Anmerkung zu den Publikationen unserer Forschungsgruppe in den letzten beiden Jahren. Neben unserer schon obligatorischen Präsenz auf OFC und ECOC, den zwei wichtigsten internationalen Konferenzen auf dem Gebiet der optischen Kommunikation, wurden unsere Forschungsergebnisse in zehn Artikeln im *IEEE Journal of Lightwave Technology*, den *IEEE Photonics Technology Letters* sowie in *Optics Express* veröffentlicht (siehe Kapitel 8).

Dies ist für unsere kleine Forschungsgruppe eine beachtliche Zahl und ausschließlich dem Arbeits-einsatz und Publikationseifer meiner Mitarbeiter(innen) geschuldet. Ich verfolge diese Entwicklung durchaus mit einem gewissen Stolz.

Impact of Demappers with Multidimensional Channel Statistics in Optical Fiber Communications

Tobias Fehenberger



Bei optischen Weitverkehrssystemen gibt es einen steigenden Bedarf nach höheren Bitraten pro Kanal bei gleichbleibend großen Übertragungsstrecken. Bei hochstufigen Modulationsverfahren kommt dem Demapper in Kombination mit Fehlerkorrektur eine Schlüsselrolle zu. Am Empfänger kann man mit geeigneten Kanalstatistiken die Informationsraten abschätzen, die eine obere Grenze der Fehlerkorrektur darstellen. In Simulationen zeigen wir, dass in einem Glaserfaser-system mit Dispersionskompensation und mehreren WDM-Kanälen (mit jeweils beiden Polarisationen) eine größere Informationsrate möglich ist, wenn die Kanalstatistiken vierdimensional geschätzt werden.

Since the advent of coherent receivers with digital signal processing (DSP), the combination of high-order modulation formats, in particular quadrature amplitude modulation (QAM), with advanced forward error correction (FEC) has enabled increased data rates [1]. Bit-wise decoders for these FEC schemes have become the de-facto standard, mainly due to their excellent trade-off between performance and complexity. For these decoders, the relevant channel outputs are log-likelihood ratios (LLRs), which are calculated from the noisy symbols after DSP.

Calculating LLRs and estimating achievable rates, such as generalized mutual information (GMI), requires assumptions on the channel model. When residual memory after DSP is neglected, at most four dimensions (4D) must be considered in the case of dual-polarization (DP). Restricting the noise model to circularly symmetric (c.s.) two-dimensional (2D) statistics is a common choice in optics [2], and has been shown to give virtually identical achievable information rates, as compared to more complex additive white Gaussian noise (AWGN) statistics, for long-haul fiber systems without inline dispersion-management (DM).

However, in the presence of resilient phase noise, for example due to strong nonlinear fiber effects, using non-c.s. statistics instead of a c.s. Gaussian model can improve performance.

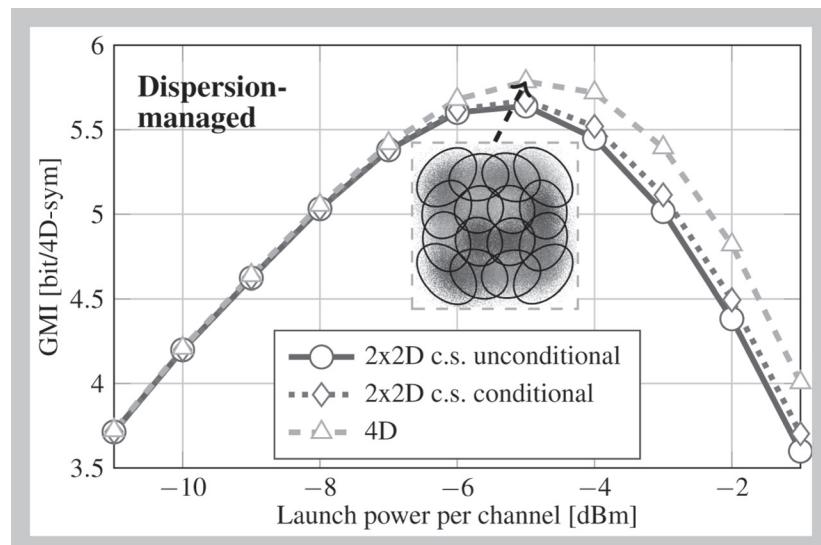
To quantify this effect, we simulated the transmission of 9 DP wavelength division multiplexing (WDM) channels spaced at 30 GHz, each with root-raised cosine shaped (20% roll-off) 16-QAM at 20 GBaud over 3000 km of standard single-mode fiber (SSMF). After every SSMF span of length 100 km, an Erbium-doped fiber amplifier with 5 dB noise figure compensates for all loss and adds noise, and a dispersion-compensating module undoes all of the SSMF dispersion. Note that this dispersion map is not optimized, yet serves as a legacy fiber setup with strong fiber nonlinearities. At the receiver, the GMI is computed with three different demapper statistics, two in 2D and one in 4D. The 2D statistics are both c.s., i.e., correlations between in-phase and quadrature are neglected. The reference 2D case has one noise variance for all constellations points, which we refer to as unconditional 2D c.s. estimate. For the second 2D estimate, one variance is computed for each constellation point, which is called conditional 2D c.s. statistics.

The 4D estimate has a full covariance matrix that allows correlations between all four dimensions.

In the figure below, the GMI in bits per 4D-symbol is shown vs. launch power per channel in dBm. GMI gains are observed by using more complex demapper statistics. While the improvement of the conditional 2D estimate over the unconditional 2D statistics is small, using full 4D covariance matrices gives GMI gains of up to 0.15 bits/4D-symbol at the optimal power. The inset of the figure represents an illustration of the 4D channel statistics, projected in 2D, showing the non-c.s. distribution of the received symbols. The GMI improvement is due to the better matching of the auxiliary and true channels.

Literature:

- [1] Richardson, D. J.: Filling the Light Pipe. In: *Science* 330 (6002), 2010
- [2] Fehenberger T. et al.: On Achievable Rates for Long-haul Fiber-optic Communications. In: *Opt. Exp.* 23 (7), 2015



GMI vs. launch power for a dispersion-managed link and three different demapper statistics. Inset: Received symbols and 2D projection of the 4D statistics.

Flexible Broadband Power Line Communication Solutions for Industrial Applications

Tasnd Kernetzky

Powerline Kommunikation (PLC) ist eine nahezu 100 Jahre alte Technologie, bei der Daten über vorhandene Stromnetze parallel zur Energie übertragen werden können. Die dabei erreichten Datenraten waren jedoch bis Anfang des 21. Jahrhunderts sehr gering. Dies änderte sich erst durch die Verwendung von orthogonalem Frequenzmultiplex (OFDM) im Rahmen des HomePlug Standards. Der Hauptzweck von HomePlug Modems ist es, Ethernet und WLAN-Netzwerke in Häusern zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Dieses Ziel hat viele Entscheidungen im Standard beeinflusst, oft zum Nachteil anderer Einsatzszenarien. In letzter Zeit gibt es zunehmendes Interesse an PLC-Technologie seitens der Industrie, beispielsweise im Rahmen des *Smart Grids*.

Da industrielle Anwendungen völlig andere Ansprüche an Powerline-Kommunikation stellen als der Gebrauch in privaten Haushalten, ent-

wickeln wir ein FPGA-basiertes und flexibles PLC-Modem, das es uns erlaubt, alle wichtigen Parameter zu variieren. Zum Einsatz kommen dabei ein Xilinx ZC706 FPGA Evaluationsboard und ein 4DSP FMC151 Analog Frontend, die zusammen eine geeignete flexible Prototyping-Plattform darstellen (siehe Foto). Das Modem läuft auf einem XC7Z045 System-on-Chip, das eine leistungsfähige FPGA und zwei ARM-basierte Prozessorkerne beinhaltet.

Powerline Communication (PLC) is a ubiquitous technology existing for roughly 100 years. Its main purpose is to transmit data on the existing power grid in parallel to the electrical current. Due to the poor quality of the communication channel, data rates were low until *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) PLC modems were introduced at the beginning of the 21st century, with *HomePlug* being the predominant standard. People started to use PLC as an easy-to-deploy and cheap alternative to Wireless LAN and cable Ethernet connections. Recently, industry gained interest in PLC for e.g. fabric automation and reading of

power meters in the so-called *Smart Grid* [1] [2].

HomePlug is optimized to work best in in-home scenarios where few devices are connected in a network that need high data rates. However, high throughput can often be sacrificed for short round-trip times, increasing the number of network participants and high reliability.

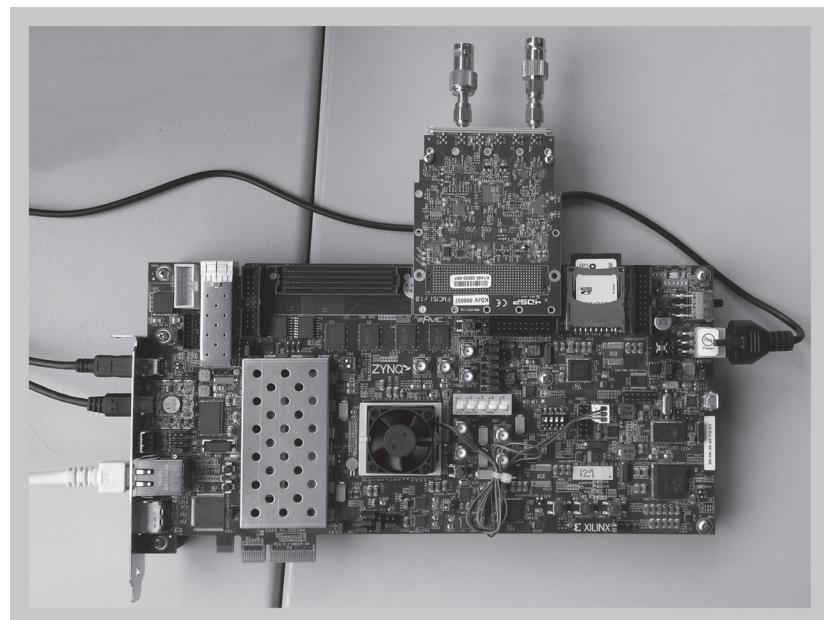
We are working on an FPGA-based PLC modem in order to go beyond the *HomePlug* standard, e.g. to tune any desired parameter and to inspect the modem's operation down to the physical layer. A Xilinx ZC706 FPGA evaluation board together with a 4DSP FMC151 analog front-end serves as the development platform that is shown in the figure below. The modem runs on a Zynq XC7Z045 System on Chip which consists of a large FPGA and two ARM Cortex-A9 processor cores.

The FPGA part provides enough logic elements to implement virtually any prototyping algorithm of the physical (PHY) layer without having to optimize it for space. Furthermore, the processor cores are perfectly suited to implement the media access (MAC) layer. The sophisticated interconnection of FPGA logic and processor with AMBA AXI buses lends itself to hardware/software co-design optimizations.

The DC coupled FMC151 analog front-end, which provides sampling rates of over 400 MS/s, lets us investigate communications in a broad spectral range.

Literature:

- [1] Galli, S.; Scaglione, A.; Wang, Z.: For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid. In: *Proc. of the IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, June 2011
- [2] Berger, L. T.; Schwager, A.; Escudero-Garzs, J. J.: Power Line Communications for Smart Grid Applications. In: *Journ. Electrical and Computer Eng.*, vol. 2013, pp. 1–16, 2013



The hardware platform consisting of a Xilinx ZC706 FPGA evaluation board and a 4DSP FMC151 analog front end (addon board on top).

Signal Pre-Distortion for Non-linear Components in Real-time Optical Communication Systems

Ginni Khanna



Optische Kommunikationssysteme sind ein essentieller Bestandteil der Transportinfrastruktur von Kommunikationssystemen. Keines der Sendeelemente ist ideal und jedes für sich wird durch verschiedene lineare oder nichtlineare Verzerrungen mit oder ohne Gedächtnis beeinträchtigt. Um deren Einfluss zu begrenzen, wurden bislang digitale Signalverarbeitungstechniken (DSP) immer auf der Empfängerseite implementiert.

Eine andere Möglichkeit, um die Effekte mangelhafter Senderkomponenten zu überwinden, ist die Implementierung von DSP-Techniken im Sender in Form einer Vorverzerrung. Ein solches vorverzerrtes Signal erzeugt zusammen mit der nichtlinearen Komponente insgesamt ein System von höherer Linearität bezüglich des Senders und führt zu einer besseren Systemleistung.

Optical communication systems are an essential part of the transport infrastructure, which are capable of providing high speed data services. The demand for better fiber capacities has led to research on optical communication systems with higher spectral efficiency and higher order modulation formats such as 16 quadrature amplitude modulation (QAM) and 32-QAM.

The transmitter of a typical optical communication system consists of a digital signal processor, which generates the digital data with a required modulation format for transmission over the optical fiber. The digital-to-analog converter (DAC) converts the digital bits into analog form. The driver amplifiers amplify the incoming analog signals and are responsible for providing a linear peak-to-peak voltage to the Mach-Zehnder modulator (MZM). After modulating the light wave (from the LASER), the modulated symbols are transmitted.

State-of-the-art DACs, driver amplifiers and DP-MZM are far from being ideal and present distortions

in the form of bandwidth limitation, transmitter I/Q skew and nonlinear effects. To mitigate the undesirable linear and non-linear distortions a new robust pre-distortion method based on Volterra series and indirect learning architecture [1, 2] was introduced and investigated [3]. The performance of the algorithm is assessed experimentally across Dual Polarization (DP)-4-QAM, DP-8-QAM, DP-16-QAM, DP-32-QAM, DP-64-QAM up to signaling rates of 56 GBaud. Significant improvements are demonstrated. The proposed method is desirable for future optical transponders as it not only avoids the need for factory characterization but also delivers noticeable performance improvements by compensating all transmitter impairments at once.

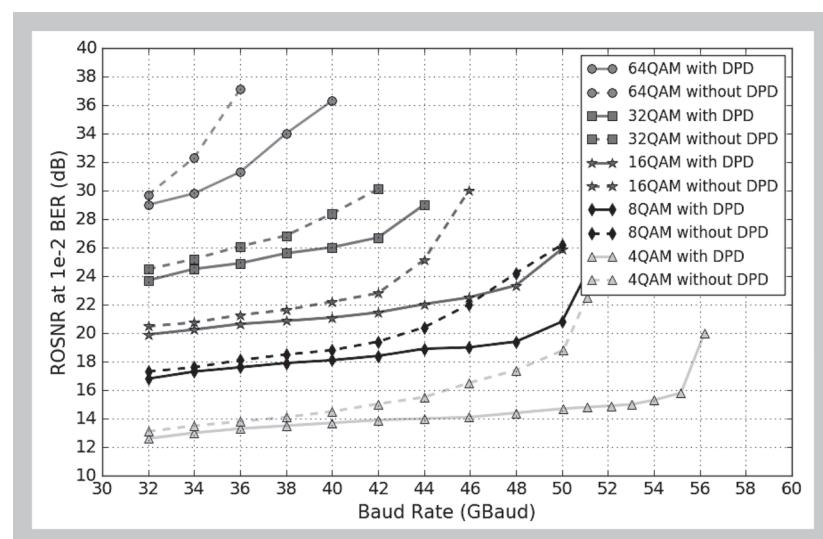
From the figure we can observe that at any symbol rate, high order modulation formats exhibit a higher gain in the presence of Digital Pre-Distortion (DPD) because the linear and non-linear distortions affect them more severely than lower order modulation formats. The proposed method enables transmission of up to 56 GBaud with the available optical communication systems components.

The proposed algorithm has also been used to compensate for the component imperfections in a field

trial conducted in France [4]. Future investigations involve compensation of various fiber linear and non-linear effects with the proposed method.

Literature

- [1] Schetzen, M.: The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems. Reprint R. E. Krieger Publishing, 1989
- [2] Eun, C.; Powers, E.J.: A New Volterra Predistorter based on Indirect Learning Architecture. In: *Proc. IEEE Trans. Signal Proc.*, Jan. 1997
- [3] Khanna, G.; Spinnler, B.; Calabro, S.; Man, E.; Hanik, N.: A Robust Adaptive Pre-distortion Method for Optical Communication Transmitters. In: *IEEE Phot. Techn. Letters*, vol. 28, no. 7, pp. 752–755, Dec. 2015
- [4] Rahman, T. et al.: Long-Haul Transmission of PM-16QAM-, PM-32QAM-, and PM-64QAM-based Terabit Superchannels over a Field Deployed Legacy Fiber. In: *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 13, pp. 3071-3079, July 2016



Effect of Digital Pre-Distortion on various DP modulation formats

7

Extern geförderte Projekte

7.1 Vorbemerkungen zu den Forschungsprojekten

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

Wir beginnen bei der Auflistung der drittmitfinanzierten Projekte mit dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT). Etliche LNT-Projekte wurden 2015/16 mit Alexander-von-Humboldt-Mitteln finanziert, u.a. zu den Themen Fehlerkorrekturverfahren, drahtlose Kommunikation, Phasenrauschkanäle, Verteilungsanpassung und Netzwerkinformationstheorie. Kapitel 7.6 und 7.7 beschreiben solche AvH-Projekte.

Die schon seit längerem laufenden Projekte mit der DLR (Kap. 7.2) und Nokia (Kap. 7.3, früher Nokia Siemens Networks, jetzt Nokia Bell Labs) wurden fortgeführt. Neu hinzu kamen zwei durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekte (Kapitel 7.4 und 7.5) sowie ein Projekt mit dem Huawei European Research Center (Kap. 7.8).

Die Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik (LÜT) bearbeitete die folgenden externen Projekte:

- Lineare und nichtlineare Vorverzerrung bei optischen Systemen, gefördert durch Coriant und dem BMBF (Kapitel 7.9 und 7.10),
- Industrielle Powerline/OFDM-Anwendungen (Siemens, Kap. 7.11),
- Mutual Information als Performance-Indikator bei optischen Systemen (Cisco, Kap. 7.12).

This chapter lists externally-funded research projects. The BMBF monies from Gerhard Kramer's Alexander von Humboldt Professorship were

originally supposed to last until September 2015 but a no-cost extension was granted until September 2017. Many of the LNT projects in 2015-2016 were supported by the Humboldt Professorship, including work on security, network information theory, distribution matching, error control coding, wireless communications, and phase noise channels.

During the time of this report, we acquired two DFG grants, one on security (physical unclonable functions) and one on source coding (distributed compressed sensing). The research projects with the German Aerospace Agency (DLR) and Nokia Siemens Networks (NSN) were continued in 2014-2016. Finally, we received new funding from the Huawei Research Center in Munich in 2016 to work on short block length codes. We hope to continue this project in 2017.

At LÜT, research work has been carried out in the framework of four externally funded research projects. Two projects are about linear and nonlinear predistortion in optical systems, funded by Coriant and the BMBF. Another project funded by Siemens deals with OFDM over Powerline for Industrial applications. Finally we established a cooperation with Cisco about application of (general) mutual information as performance indicator in optical networks.

As only half a page is assigned to most projects, the reader is kindly referred to Chapters 5 and 6 for details.

- 7.1 Vorbemerkungen
- 7.2 DLR@Uni – Munich Aerospace (LNT)
- 7.3 LNT-Projekt mit Nokia (M. Staudacher et al.)
- 7.4 LNT-DFG-Projekt (L. Palzer et. al)
- 7.5 LNT-DFG-Projekt (O. Günlü et. al)
- 7.6 AvH-Förderung R. Timo
- 7.7 AvH-Förderung Y. Wu
- 7.8 LNT-Projekt mit Huawei (P. Yuan et al.)
- 7.9 LÜT-Projekt mit Coriant (G. Khanna et al.)
- 7.10 LÜT-BMBF-Projekt (G. Khanna et al.)
- 7.11 LÜT-Projekt mit Siemens (T. Kernetzky et al.)
- 7.12 LÜT-Projekt mit Cisco (T. Fehnberger et al.)

- Project Implementation:**
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
- Funding Period:**
01.01.2012-30.09.2016
- Reporting Period:**
01.10.2014-30.09.2016
- Funding Agency:**
Helmholtz Allianz
- Project Partners:**
Institute for Communications and Navigation at the German Aerospace Agency (DLR):
Dr. Berioli, Dr. Liva, Dr. Munari

7.2 DLR@Uni – Munich Aerospace

Fabian Steiner, Patrick Schulte, Georg Böcherer, and Gerhard Kramer

The goal of this project is to apply recent results from information theory and coding to scenarios that relate to aeronautical and satellite communications. The cooperation between the Institute for Communications and Navigation, German Aerospace Agency (DLR), and LNT allows both parties to benefit from the experience and knowledge of the other.

The main focus of the project was the design of channel codes for bandwidth efficient modulation with probabilistic shaping. Most code designs use uniformly distributed symbols. Probabilistic shaping instead assigns different probabilities to constellation points to improve the power efficiency of the transmitted signal and to approach the Shannon capacity of the respective channel.

An important property of our probabilistic shaping method is flexible

rate adaptation without modifying the forward error correction (FEC) code. This property allows to use one FEC engine and lets the transmitter adapt to different SNR conditions by modifying the input distribution and thereby the transmission rate. To achieve the best performance, the code design should take this flexibility into account.

We developed optimization methods to design channel codes that perform well across wide ranges of rates:

- Steiner, F.; Böcherer, G. Liva, G.: Protograph-based LDPC Code Design for Shaped Bit-metric Decoding. In: *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, Feb. 2016
- Steiner, F.; Schulte, P.: Design of Robust, Protograph based LDPC Codes for Rate-Adaptation via Probabilistic Shaping. In: *Int. Symp. on Turbo Codes*, Sept. 2016

7.3 Cooperation Methods for Wireless Communications

Markus Staudacher, Amir Ahmadian, Stefan Dierks und Gerhard Kramer

- Project Implementation:**
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
- Funding Period:**
01.03.2011-31.12.2016

- Reporting Period:**
Projekt (1): 01.01.2014-31.12.2014
Analysis of Cooperating Schemes and Massive MIMO in Local Area Scenarios

- Projekt (2): 01.01.2015-30.09.2016
Analysis of Massive MIMO Precoder Design and Indoor-Outdoor Cooperation

- Funding Agency:**
Nokia Solutions and Networks. Umbenannt in Nokia Bell Labs (2016)

- Project Partners:** alle Nokia
Dr. Wegmann, Dr. Redana, W. Zirwas, Dr. Panzner, Dr. Ganesan

Im Projekt *Analysis of Massive MIMO Precoder Design and Indoor-Outdoor Cooperation* wird seit 2015 untersucht, wie der Sender eines Mobilfunksystems mit sehr vielen Antennen (Massive MIMO) stark vereinfacht werden kann, um Kosten und Energie zu sparen.

Es wird von Anfang an daran gearbeitet, die Übertragung über den Mobilfunkkanal grundlegend zu verändern. Zu diesem Zweck wurden die Digital-Analog-Wandler durch einen simplen Schalter ersetzt, der eine Antenne entweder an- oder ausschalten kann. Zusätzlich gibt es die Option, Phasenschieber einzusetzen, um eine höhere Genauigkeit zu erreichen. Um die Daten zu übertragen, wird nicht wie üblich ein Precoder benutzt. Vielmehr wird bei diesem Projekt durch die Kombination von angeschalteten Antennen, den Phasenschiebern und den Kanalkoeffizien-

ten versucht, das gewünschte Signal direkt am Empfänger zu erzeugen.

Im Projekt wurde gezeigt, dass der mittlere Fehler zwischen dem gewünschten und dem erzeugten Signal auch für eine große Anzahl von Empfängern in einem Bereich liegt, in dem z.B. ein 256 QAM-Signal mit geringer Fehlerrate übertragen werden kann. 2016 wurde für dieses Verfahren ein Algorithmus entwickelt, der das in der Mathematik wohlbekannte Problem „Knapsack“ benutzt, um das Signal am Empfänger zu erzeugen.

Des Weiteren wurde die Kombination aus diesen sehr simplen Radio-Frequenz-Ketten und den üblichen eines LTE-Systems betrachtet. Durch diese Kombination kann das System weiter verbessert werden und zum Beispiel als Unterstützung für existierende Systeme verwendet werden.



7.4 Information Theory and Recovery Algorithms for Quantized and Distributed Compressed Sensing

Lars Palzer and Gerhard Kramer

The idea behind *Compressed Sensing* (CS) is that many natural signals can not only be compressed significantly in the digital domain, but directly measured in an efficient manner through random projections, thereby reducing hardware complexity.

One aspect of this project is information theory limits for *quantized CS* to understand the fundamental limits of digital CS systems. For this purpose, we introduced the *per-letter rate-distortion function*, which describes the optimal tradeoff between the compression rate and the quantization errors for different parts of the signal. We studied this function for memoryless spike sources – a frequently used probabilistic signal model in CS – and were able to leverage these insights to derive new limits for the standard rate-distortion function of spike sources.

A next step is to extend the results to the setting of distributed CS, where several correlated signals are compressed separately but reconstructed together.

A second aspect of the project is recovery algorithms for quantized CS with one or more signals. Here, we are collaborating with our project partners from the Chair in Applied Numerical Analysis at the TUM Faculty of Mathematics. The goal is to investigate the achievable performances of CS algorithms employing low-complexity scalar quantization schemes.

This project is part of the DFG priority program *Compressed Sensing in Information Processing* (SPP 1798) that includes more than 15 different projects aimed at developing both theory and algorithms to bring CS to practice.

Project Implementation:
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Funding Period:
01.01.2016-31.12.2018

Reporting Period:
01.01.2016-30.09.2016

Funding Agency:
Deutsche Forschungsgemeinschaft

Project Partners:
Lehrstuhl für Angewandte Numerische Analyse, TU München
– Prof. Fornasier
– J. Maly

7.5 A Holistic Approach to Key Generation using Physical Unclonable Functions

Onur Günlü and Gerhard Kramer

This project aims to develop efficient and reliable bit extraction and error correction schemes for physical unclonable functions (PUFs). By combining the complementary research experiences of a theory-oriented and an implementation-oriented group, the collaborative project will generate new insights inspired by both groups. The LNT will perform research on information and communications theory, with a focus on PUF modeling, fundamental coding limits, and algorithms. The Institute for Security in Information Technology will perform research on new algorithms for syndrome coding for PUFs, on efficient implementations, as well as on side-channel attacks.

In the first subproject called *Modeling and Analyses*, we developed statistical models for ring oscillator (RO) and static random access memory (SRAM) outputs and for bit

sequences that are generated from these outputs by using our previously proposed transform coding algorithm. Asymptotically optimal criteria, e.g., Akaike's and Bayesian information criteria, were used for model selection.

We also derived accurate bounds for the number of secret-key bits that can be generated from a given number of ROs by using the signal-to-noise ratios at each transform-domain coefficient according to realistic source and noise statistics for RO outputs. Information-theoretic modeling and analyses provided a foundational view on the complete key-binding scenario and let us develop new concepts and evaluation criteria for key binding using PUFs. Optimal transform and key-binding algorithm designs for RO and SRAM PUFs will follow by using the current findings.

Project Implementation:
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Funding Period:
01.01.2016-31.12.2018

Reporting Period:
01.01.2016-30.09.2016

Subprojects:
SP1: Modeling and Analyses
SP2: Algorithmic Concepts
SP3: Prototyping and Evaluation

Funding Agency:
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Project Partners:
Lehrstuhl für Sicherheit in der Informationstechnik, TU München
– Prof. Sigl

Project Implementation:
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Funding Period:
01.05.2014–30.04.2016

Reporting Period:
01.10.2014–30.04.2016

Funding Agency:
Alexander von Humboldt Foundation (AvH)

Project Partners:

- The University of South Australia
- Telecom ParisTech

7.6 Streaming, Multiaccess and Broadcast with Finite Delays

Roy Timo and Gerhard Kramer

This project, funded by the Alexander von Humboldt Foundation, involved research on several different topics in communications and information theory, including fundamental limits of real-time (zero delay) communications, data caching for compression and communications, finite-blocklength information theory, and cooperative transmissions in cellular networks. The project also involved new results on information theory for compressive sensing.

For example, our paper [1] takes a rate-distortion approach to cache-aided communications. We characterized the optimal tradeoffs between the delivery rate, cache capacity and reconstruction distortions for a single-user problem and some special cases of a two-user problem. Our analysis considers discrete memoryless sources, expected- and excess-distortion constraints, and separable and f-separable distortion functions. We also established a strong converse for separable-distortion functions, and we showed that lossy versions of common information (Gacs-Körner and Wyner) play an important role in caching. Finally, we illustrated and evaluated these laws for multivariate Gaussian sources and binary symmetric sources.

Our paper [2] studies noisy broadcast networks with local cache memories at the receivers, where the transmitter can pre-store information. We mostly focused on packet-erasure broadcast networks with two disjoint sets of receivers: a set of weak receivers with equal cache sizes and a set of strong receivers with no cache memories. We presented lower and upper bounds on the capacity-memory tradeoff of this network. The lower bound is achieved by a new joint cache-channel coding idea and significantly improves on schemes that are based on separate cache-channel coding. This coding idea could be extended to more general discrete memoryless broadcast channels and

to unequal cache sizes. Our upper bound holds for all stochastically degraded broadcast channels. Our bounds are tight when there is a single weak receiver (and any number of strong receivers) and the cache memory size does not exceed a given threshold. When there are a single weak receiver, a single strong receiver, and two files, then we can strengthen our upper and lower bounds so that they coincide over a wide regime of cache sizes. Finally, we completely characterized the rate-memory tradeoff for general discrete-memoryless broadcast channels with arbitrary cache memory sizes and arbitrary (asymmetric) rates when all receivers always demand exactly the same file.

Finally, our paper [3] reports a converse bound for lossy source coding in the finite blocklength regime. The bound is based on d-tilted information. When particularized to the binary and Gaussian memoryless sources, the new bound gives slightly tighter results in certain blocklength regimes.

Roy Timo was also co-organizer of the *17th Joint Conference on Communications and Coding (Chapter 9.4)*, the *Munich Workshop on Massive MIMO (MMM 2016, Chapter 9.6)* and the *Bertinoro Workshop on Communications and Coding (BCC 2016, Chapter 9.10)*.

Publications:

- [1] Timo, R., Saeedi Bidokhti, S.; Wigger M.; Geiger, B.: A Rate-Distortion Approach to Caching. Submitted to *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2016
- [2] Saeedi Bidokhti, S.; Wigger, M.; Timo, R.: Joint Cache-Channel Coding over Erasure Broadcast Channels. Submitted to *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2016
- [3] Palzer, L.; Timo, R.: Converse for Lossy Source Coding in the Finite Blocklength Regime. – In: *Int. Zurich Seminar on Commun. (IZS)*, March 2016

7.7 New Ways of Exploiting Relay, Feedback and Cooperation in Wireless Networks

Youlong Wu

In this project we investigate general wireless networks that incorporate relays, feedback links as well as cooperation communication. Our goal is to develop new coding strategies that improve over existing coding schemes for such networks, and establish the capacity of certain classes of networks. We particularly focus on the following two types of networks:

- relay broadcast channels (RBCs) with feedback and
- discrete memoryless multi-message multicast network (DM-MNs).

(1) RBCs with Feedback

In this work, we consider the RBC with feedback, where the transmitter broadcasts dedicated information to two receivers, and each receiver can send feedback signals that help the other receiver and the transmitter. We first study the partially cooperative RBC with one-sided feedback (only one receiver sends feedback signals). We propose a block-Markov coding scheme (Scheme 1) in which the transmitter uses modified Marton coding in each block to send source messages and to forward feedback messages. The receiver that acts as a relay performs combined partial decode-forward and compress-forward and sends the compression message as feedback information. The other receiver uses backward decoding to jointly decode the compression message and its private message. Based on Scheme 1, we proposed a new scheme (Scheme 2) for fully cooperative RBCs with two-sided feedback (both receivers send feedback signals).

It is shown that when feedback rates are sufficiently large, both schemes improve on previous achievable regions, including [1] for partially cooperative RBCs without feedback, and [2] for BCs with feedback. This demonstrates that using feedback is a powerful tool to improve the rate performance of networks.

(2) DM-MNs

In this work, we consider general DM-MNs with feedback. This network consists of $N \geq 3$ nodes where the transmitter sends a source message to different receivers with the assistance of multiple relays, and each receiver or relay can send feedback signals through a noiseless but rate-limited feedback pipe to the transmitter. We propose new coding schemes based on block-Markov coding, superposition coding, backward decoding and hybrid relaying strategies.

It is shown that our coding schemes generalize [3] for the relay channel with relay-transmitter feedback. For some channels, such as the Gaussian relay channel and Z relay channels, our coding schemes strictly improve all known lower bounds on the achievable rate in the absence of feedback.

Motivated by our feedback coding schemes, we propose a new scheme for the DM-MN without feedback. The key idea is that in each block, instead of obtaining compression messages directly through the feedback pipes, the transmitter decodes the compression messages based on its observed channel outputs. It is shown that our no-feedback coding scheme strictly improves all previous known lower bounds for some channels.

Literature:

- [1] Liang, Y.; Kramer, G.: Rate Regions for Relay Broadcast Channels. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no.10, pp.3517-3535, Oct. 2007
- [2] Wu, Y.; Wigger, M.: Coding Schemes for Discrete Memoryless Broadcast Channels with Rate-limited Feedback. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Information Theory*, pp. 2127-2131, Honolulu, HI, June 2014
- [3] Gabbai, Y.; Bross, S. I.: Achievable Rates for the Discrete Memoryless Relay Channel with Partial Feedback Configurations. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 11, pp. 4989-5007, Nov. 2006



Project Implementation:
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Funding Period:
01.04.2016-31.03.2017

Reporting Period:
01.04.2016-30.09.2016

Funding Agency:
Humboldt Fellowship

Project Implementation:
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik

Funding and Reporting Period:
01.11.2015-31.10.2016

Funding Agency:
Huawei ERC (European Research Center)

Project Partners:

- Dr. Xu, Huawei ERC
- Dr. İşcan, Huawei ERC
- Dr. Boehnke, Huawei ERC

7.8 Low Latency Coded Modulation

Peihong Yuan, Marcin Pikus, Georg Böcherer, and Gerhard Kramer

The research project *Low Latency Coded Modulation* focuses on investigating new coding methods for next generation communication systems that offer low latency, low complexity, high reliability and high adaptability. Sophisticated encoding and decoding methods should be developed that are relevant to machine-type communications.

Some challenges for short block lengths are as follows.

- 1) Many conventional analysis and design tools are suitable for large block lengths only.
- 2) At short lengths, the rate loss due to error detection (due to CRC bits) may become significant.
- 3) Reliability degrades with decreasing block length.
- 4) Decoder design, especially the complexity, is as important as the code design.

In the first stage of the project, we studied requirements and evaluated theoretical limits.

The second stage comprised an overview of State-of-the-Art (SotA) solutions including Polar+CRC codes and Non-binary Turbo/LDPC codes. We further evaluated the SotA solutions based on their complexity and error performance, we compared these to theoretical benchmarks, and we identified the strong and weak points of each code.

Next, we analyzed different code design tools, e.g., tools for performing Density Evolution and EXIT chart analyses, Progressive Edge Growth for Turbo- and LDPC codes, etc.

Finally, we designed short codes and decoding algorithms fulfilling the requirements. The performance and complexity of the codes compared favorably to the SotA solutions.

7.9 Transmitter-based Equalization of Linear/Nonlinear Distortions of Optical Components

Ginni Khanna and Norbert Hanik

Project Implementation:
Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Funding Period:
01.05.2013 – 30.04.2016

Reporting Period:
30.09.2014 – 30.04.2016

Funding Agency:
Coriant GmbH & Co KG

Project Partner:

- Dr. Spinnler, Coriant GmbH

Digital-to-analog converters (DAC), driver amplifiers (DA) and Dual Polarization Mach-Zehnder-Modulators (MZM) form an important part of a high data rate optical communication transmitter. All these components are not ideal and hinder the system performance through various linear and non-linear effects. It is broadly recognized that high baud rate systems (>32 Gbaud) are limited by the bandwidth of commercial DACs. Additionally, the DA and MZM impede the performance of the transmitter by introducing non-linear distortions.

Another transmitter impairment is the I/Q skew which is the differential group delay between the in-phase and quadrature channels of a complex baseband signal and becomes critical at higher modulation formats. This can arise from unequal lengths of physical wires used in the transmitter.

In this research project with Coriant project we introduced an adaptive digital pre-compensation (DPC) algorithm based on the indirect learning architecture (ILA) to mitigate linear effects i.e., I/Q skew and low pass frequency response of the electrical transmitter components without any extensive calibration. The algorithm has been experimentally validated and substantial improvement was shown in an electrical back-to-back scenario for 37.41 GBaud root raised cosine signals with DP-128QAM and DP-256QAM. We extended the DPC algorithm to an adaptive digital pre-distortion (DPD) algorithm that addresses also non-linear distortions and imperfections in the optical components. The novel solution is now able to further compensate non-linearities in the DAC, DA and DP-MZM without the need for any factory calibration.



7.10 Flexible Infrastructure for Data Center Communication Providing Unique Security (Sendate-FICUS)

Ginni Khanna und Norbert Hanik

Zukünftige optische Kommunikationsnetze werden bei höchsten Kanaldatenraten über 100 Gigabit/s, flexibel und automatisch gesteuert, um unterschiedlichste Dienste mit minimaler Verzögerung und mit größtmöglicher Sicherheit bereitzustellen. Ziel dieses Projektes ist es, durch innovative, optimierte Signalverarbeitung im Sender eine sichere Übertragung zu gewährleisten, die dynamisch veränderliche Signalverzerrungen kompensiert, maximale Robustheit gegen additive Störungen gewährleistet und einen sicheren Schutz gegen unerlaubtes Abhören schon auf der physikalischen Schicht sicherstellt.

Zur Kompensation der vielfältigen zeitvarianten Verzerrungen wird ein Verfahren zur elektrischen Vorverzerrung weiterentwickelt und optimiert, das die linearen und nichtlinearen Verzerrungen der Komponen-

ten des Senders, ausgewählter Komponenten des Empfängers und ausgewählter Komponenten der Übertragungsstrecke kompensiert. Es wird also angestrebt, durch optimierte Vorverzerrung des digitalen Sendesignals eine weitgehende Kompensation der erwarteten Signalverzerrungen des Übertragungssystems zu erreichen, so dass am Empfänger bereits ein möglichst verzerrungsfreies Signal vorliegt und nur noch geringe Anstrengungen zur vollständigen Signalentzerrung unternommen werden müssen. Wird im sendeseitigen Kompensationsalgorithmus ein variabler Restfehler zugelassen, so wird ein verzerrtes, für einen Abhörer völlig unleserliches Signal erzeugt. So mit kann bereits auf dem *Physical Layer* ein wirksamer Schutz gegen unautorisiertes Abhören integriert werden.

7.11 Flexible Broadband Power Line Communication Solutions for Industrial Applications

Tasnad Kernetzky and Norbert Hanik

Power Line Communication (PLC) enables sending data over existing (power) cables, which can potentially reduce costs or establish a link where other solutions are not feasible.

One such scenario is the charging of electrical vehicles via a combined charging system plug, according to the IEC 62196 standard. As the plug does not offer pins for broadband data communication, the existing signal pin is used to establish a PLC link.

Off-the-shelf PLC solutions are mainly optimized for in-home use, rather than offering the possibility for customization, which is often needed in industrial scenarios. Therefore, the goal of this project is to develop a flexible FPGA-based PLC Modem, which then can be used to explore and test PLC parameters and technologies.

The FPGA design shall consist of a Physical (PHY) and Media Access

(MAC) layer, with focus on flexible function exploration and Hardware/Software co-design optimizations. We use a Xilinx ZC706 FPGA Evaluation Board together with an analog front-end. While the FPGA part of the XC7Z045 SoC is big enough to perform the computationally intensive tasks of the PHY (forward error correction, Fourier transforms, A/D conversion, ...), the two processor cores on the silicon are perfectly suited for sequential tasks in the MAC layer (channel contention, connection setup and control, ...) and for running a Linux operating system at the same time.

Once the modem's transmission path is working, the next step will be to measure one particular setup like the harsh channel during charging of a vehicle and perform offline processing and transmission optimization of the recorded and transmitted data.

Project Implementation:
Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Funding Period:
01.05.2016 – 30.04.2019

Reporting Period:
01.05.2016 – 30.09.2016

Funding Agency:
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMFB)

Project Partner:
– Dr. Spinnler, Coriant GmbH
– Prof. Lankl, UniBW München

Project Implementation:
Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Funding Period:
01.12.2014 – 30.11.2017

Reporting Period:
01.12.2014 – 30.09.2016

Funding Agency:
Siemens AG

Project Partner:
– Dr. Heuer, Siemens AG München
– Dr. Zhang, Siemens AG München



- Project Implementation:**
Professur Leitungsgebundene Übertragungstechnik
- Funding Period:**
01.07.2016 – 31.12.2016
- Reporting Period:**
01.07.2016 – 30.09.2016
- Funding Agency:**
Cisco Optical GmbH, Nürnberg
- Project Partner:**
- Dr. Bisplinghoff,
Cisco Optical GmbH

7.12 Generalized Mutual Information Estimation Tool

Tobias Fehenberger and Norbert Hanik

Optical fiber systems are the backbone of the Internet as effectively all traffic is routed over fiber links. A growing data throughput is facilitated by higher-order modulation formats whose sensitivity to errors is met with soft-decision (SD) forward error correction (FEC). While the deployment of SD FEC has reached a very mature point in modern fiber systems, the widely used performance metrics date back to the times of hard-decision (HD) FECs. The uncoded BER (pre-FEC BER) is still a common figure of merit, although it does not have an information-theoretic relation to SD-decoders. Hence, it is not surprising that pre-FEC BER has been shown to be an inaccurate predictor of the post-FEC BER.

The more natural metrics to consider are mutual information (MI)

and generalized mutual information (GMI), which are achievable rates for practically relevant coded modulation systems with SD FEC. In particular, MI and GMI are suitable performance indicators for general SD-FEC schemes and for bit-interleaved coded modulation (BICM) with binary FEC and no demapper-decoder iterations, respectively. These findings were obtained in extensive Monte Carlo simulations using perfect knowledge of the transmit symbol sequence at the demapper. This is obviously an unrealistic assumption for a practical fiber system with live data, where the channel input cannot be fully known.

The objective of this project is to investigate tools to estimate MI and GMI as monitoring tools for real-time optical fiber systems.

8

Veröffentlichungen

Patente, Vorträge

8.1 Überblick aller Publikationen

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

Im Zeitraum 10/2014-09/2016 gab es folgende Publikationen des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT):

- Zwei Buchbeiträge,
- drei Dissertationen
- 20 Zeitschriftenbeiträge,
- 59 Konferenzbeiträge,
- 35 Poster auf Konferenzen,
- drei Patente,
- 66 Vorträge.

Die Publikationen der Professur *Leitungsgebundene Übertragungstechnik* (LÜT) für den gleichen Zeitraum sind in den Kapiteln 8.2-8.7 stets nach den LNT-Einträgen angegeben:

- Eine Dissertation,
- sechs Zeitschriftenbeiträge,
- 23 Konferenzbeiträge,
- vier Poster auf Konferenzen,
- sechs Vorträge.

The publications of the *Chair of Communications Engineering* (LNT) and the *Wired Communications Technology* group (LÜT) are listed in Chapters 8.2: Book Chapters and Dissertations, 8.3: Journal Publications, 8.4: Conference Publications, 8.5: Posters, 8.6: Patents, 8.7 Talks.

8.2 Buchbeiträge und Dissertationen – *Book Chapters and Dissertations*

Bossert, M.; Sidorenko, V.; Wachter-Zeh, A.: Coding Techniques for Transmitting Packets Through Complex Communication Networks. - In: *Communications in Interference Limited Networks*. Springer International Publishing, 2016

El Hefnawy, M.: Spectral Efficiency and Spectral Shaping of Faster-Than-Nyquist Signals. Dissertation, TU München. - In: *Verlag Dr. Hut*, München. ISBN: 978-3-8439-2492-4, 2016

Heindlmaier, M.: Network Coding for Two-Way Relay Channels and Broadcast Erasure Channels with Feedback. Dissertation, TU München. - In: *Verlag Dr. Hut*, München. ISBN: 978-3-8349-2391-0, 2015

Hou, J.; Kramer, G.; Bloch, M.: Effective Secrecy: Reliability, Confusion and Stealth. - In: Boche, H.; Khisti, A.; Poor, H. V.; Schaefer, R. F. (Hrsg.): *Information Theoretic Security and Privacy of Information Systems*. Cambridge University Press, 2016

İşcan, O.: Design of Communication Systems for Two-Way Relaying. Dissertation, TU München. - In: *Verlag Dr. Hut*, München. ISBN: 978-3-8349-1961-6, 2015

Hellerbrand, S.: Electronic Predistortion for the Compensation of Transmission Impairments in Fiber-optic Communication Systems. Dissertation, TU München. In: *Verlag Dr. Hut*, München. ISBN: 978-3-8349-2058-2, 2015

LNT

LÜT



LNT

8.3 Zeitschriftenaufsätze - *Journal Publications*

Barletta, L.; Borgonovo, F.; Cesana, M.: A Formal Proof of the Optimal Frame Setting for Dynamic-frame Aloha with known Population Size. - In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 11, pp. 7221-7230, Nov. 2014

Bartz, H., Sidorenko, V.: Algebraic Decoding of Folded Gabidulin Codes. - In: *Designs, Codes and Cryptography*, pp. 1-19, March 2016

Buchali, F.; Steiner, F.; Böcherer, G.; Schmalen, L.; Schulte, P.; Idler, W.: Rate Adaptation and Reach Increase by Probabilistically Shaped 64-QAM: An Experimental Demonstration. - In: *J. Lightwave Technol.*, vol. 34, no. 7, pp. 1599-1609, Apr. 2016

Dong, Z.; Hari, S.; Gui, T.; Zhong, K.; Yousefi, M.; Lu, C.; Wai, P.-K.; Kschischang, F.; Lau, A.: Nonlinear Frequency Division Multiplexed Transmissions based on NFT. - In: *IEEE Phot. Technol. Lett.*, vol. 27, no. 15, pp. 1621-1623, Aug. 2015

Fehenberger, T.; Alvarado, A.; Böcherer, G.; Hanik, N.: On Probabilistic Shaping of Quadrature Amplitude Modulation for the Nonlinear Fiber Channel. - In: *J. Lightwave Technol.*, vol. 34, no. 21, pp. 5064-5074, July 2016

Geiger, B. C.; Petrov, T.; Kubin, G.; Koepll, H.: Optimal Kullback-Leibler Aggregation via Information Bottleneck. - In: *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 60, no. 4, pp. 1010 - 1022, Apr. 2015

Geiger, B. C.; Böcherer, G.: Greedy Algorithms for Optimal Distribution Approximation. - In: *Entropy*, vol. 18, paper.262, July 2016

Goldfeld, Z.; Permuter, H.; Kramer, G.: Duality of a Source Coding Problem and the Semi-deterministic Broadcast Channel with Rate-limited Co-operation. - In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 62, no. 5, pp. 2285-2307, May 2016

Mueck, M.; Msallem, M.; Drewes, C.; Stinner, M.: Optimum Selection of Radio Access Technologies in a 5G Heterogeneous Multicomm Environment. - In: *IEICE Trans. Comm.*, vol. E98.B, no. 10, pp. 1949-1956, Oct. 2015

Ong, L.; Timo, R.: A Multiway Relay Channel with Balanced Sources. - In: *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 12, pp. 4809-4823, Dec. 2015

Pecorino, S.; Mandelli, S.; Barletta, L.; Magarini, M.; Spalvieri, A.: Bootstrapping Iterative Demodulation and Decoding Without Pilot Symbols. - In: *J. Lightwave Technol.*, vol. 33, no. 17, pp. 3613-3622, Sep. 2015

Pikus, M.; Kramer, G.; Böcherer, G.: Discrete Signaling for Non-coherent, Single-antenna, Rayleigh Block-fading Channels. - In: *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 4, pp. 764-767, April 2016

Puchinger, S.; Rosenkilde, J.; Li, W.; Sidorenko, V.: Row Reduction Applied to Decoding of Rank-metric and Subspace Codes. - In: *Designs, Codes and Cryptography*, pp. 1-21, Aug. 2016

Saeedi Bidokhti, S.; Prabhakaran, V.; Diggavi, S.: Capacity Results for Multicasting Nested Message Sets over Combination Networks. - In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 62, no. 9, pp. 4968-4992, Sept. 2016



Steiner, F.; Böcherer, G.; Liva, G.: Protograph-based LDPC Code Design for Shaped Bit-Metric Decoding. - In: *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. 34, no. 2, pp. 397-407, Feb. 2016

Steiner, F.; Dempfle, S.; Ingber, A.; Weissman, T.: Compression for Quadratic Similarity Queries: Finite Blocklength and Practical Schemes. - In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 62, no. 5, pp. 2737 - 2747, May 2016

Stinner, M.; Olmos, P. M.: On the Waterfall Performance of Finite-length SC-LDPC Codes Constructed from Protographs. - In: *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 34, pp. 345-361, Feb. 2016

Timo, R.; Wigger, M.: Slepian-Wolf Coding for Broadcasting With Cooperative Base- Stations. - In: *IEEE Trans. on Communications*, vol. 63, no. 5, pp. 1850 - 1866, May 2015

Wachter-Zeh, A.; Stinner, M.; Sidorenko, V.: Convolutional Codes in Rank Metric with Application to Random Network Coding. - In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 61, pp. 3199-3213, June 2015

Wu, Y.; Wigger, M.: Coding Schemes with Rate-limited Feedback that Improve over the Nofeedback Capacity for a Large Class of Broadcast Channels. - In: *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 62, pp. 2009-2033, Apr. 2016

El-Nahal, F.: Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Networks (WDM PONs) with Downstream DPSK and Upstream Remodulated OOK using Injection-locked Fabry-Perot Laser Diodes (FP-LDs) – Photonics Letters of Poland, Band vol. 7 (4) , Apr. 2015

LÜT

Eriksson, T. A.; Fehenberger, T.; Andrekson, P. A.; Karlsson, M.; Hanik, N.; Agrell, E.: Impact of 4D Channel Distribution on the Achievable Rates in Coherent Optical Communication Experiments. - In: *Journal Lightwave Technology*, vol. 34, no. 9, pp. 2256-2266, May 2016

Fehenberger, T.; Alvarado, A.; Bayvel, P.; Hanik, N.: On Achievable Rates for Long-haul Fiber-optic Communications. - In: *Optics Express*, vol. 23, no. 9, Apr. 2015

Fehenberger, T.; Alvarado, A.; Böcherer, G.; Hanik, N.: On Probabilistic Shaping of Quadrature Amplitude Modulation for the Nonlinear Fiber Channel. - In: *Journal Lightwave Technology*, vol. 34, no. 22, pp. 5064-5074, Nov. 2016

Fehenberger, T.; Lavery, D.; Maher, R.; Alvarado, A. ; Bayvel, P. ; Hanik, N.: Sensitivity Gains by Mismatched Probabilistic Shaping for Optical Communication Systems. - In: *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 28, no. 7, pp. 786-789, Apr. 2016

Yankov, M. P.; Fehenberger, T.; Barletta, L.; Hanik, N.: Low-Complexity Tracking of Laser and Nonlinear Phase Noise in WDM Optical Fiber Systems. - In: *Journal Lightwave Technology*, vol. 33, no. 23, pp. 4975-4984, Dec. 2015

8.4 Konferenzbeiträge - Conference Publications

Ahmadian, A.; Zirwas, W.; Siva Ganesan, R.; Panzner, B.: Low Complexity Moore-Penrose Inversion for Large CoMP Areas with Sparse Massive MIMO Channel Matrices. - In: *IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC 2016)*, Sept. 2016

LNT

Amjad, R. A.: Variable-to-Fixed Length Resolution Codes for Approximate Random Number Generation. - In: *XV International Symposium on Problems of Redundancy in Information and Control Systems*, Sept. 2016

Barletta, L.; Kramer, G.: Upper Bound on the Capacity of Discrete-time Wiener Phase Noise Channels. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop*, Apr. 2015

Barletta, L.; Kramer, G.: Lower Bound on the Capacity of Continuous-time Wiener Phase Noise Channels. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015

Bartz, H.: List and Probabilistic Unique Decoding of High-Rate Folded Gabidulin Codes. - In: *Ninth Int. Workshop on Coding and Cryptography (WCC)*, Apr. 2015

Bartz, H., Sidorenko, V.: List and Probabilistic Unique Decoding of Folded Subspace Codes. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, June 2015

Bartz, H., Sidorenko, V.: On List-Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon, Gabidulin and Subspace Codes. - In: *XV International Symposium "Problems of Redundancy in Information and Control Systems"*, Sept. 2016

Baur, S.; Böcherer, G.: Arithmetic Distribution Matching. - In: *International ITG Conference on Systems, Communications and Coding*, Feb. 2015

Brauchle, J.: On the Error-Correcting Radius of Folded Reed–Solomon Code Designs. - In: *Coding Theory and Applications* (CIM Series in Mathematical Sciences, vol. 3, Springer Science + Business Media, Apr. 2015

Brauchle, J.; Sidorenko, V.: On Asymptotic Strategies for GMD Decoding with Arbitrary Error-Erasure Tradeoff. - In: *Ninth Int. Workshop on Coding and Cryptography (WCC)*, Apr. 2015

Buchali, F.; Böcherer, G.; Idler, W.; Schmalen, L.; Schulte, P.; Steiner, F.: Experimental Demonstration of Capacity Increase and Rate-adaptation by Probabilistically Shaped 64-QAM. - In: *2015 European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2015

Buchali, F.; Idler, W.; Schuh, K.; Schmalen, L.; Böcherer, G.; Schulte, P.; Steiner, F.; Eriksson, T. A.: Study of Electrical Subband Multiplexing at 54 GHz Modulation Bandwidth for 16QAM and Probabilistically Shaped 64QAM. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

Böcherer, G.; Schulte, P.; Steiner, F.: Bandwidth Efficient and Rate-Matched Low-Density Parity-Check Coded Modulation. - In: *Coding and Transmission Schemes for High Rate Communications Systems*, pp. 24, Apr. 2015

Böcherer, G.; Steiner, F.; Schulte, P.: Opportunities of Probabilistic Shaping for Fiber-Optic Communications. - In: *Latin America Optics and Photonics Conference (LAOP)*, Aug. 2016

Dierks, S.; Zirwas, W.; Jaeger, M.; Panzner, B.; Kramer, G.: MIMO and Massive MIMO: Analysis for a Local Area Scenario. - In: *EUSIPCO*, Sept. 2015

Fehenberger, T.; Böcherer, G.; Alvarado, A.; Hanik, N.: LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems. - In: *Optical Fiber Conference (OFC)*, March 2015

Geiger, B. C.: Two Little(?) Problems. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Geiger, B. C.: The Fractality of Polar Codes. - In: *Int. Zurich Seminar on Communications (IZS)*, pp. 160-164, March 2016

Geiger, B. C., Hofer-Temmel, C.: Graph-Based Lossless Markov Lumpings. - In: *Proc. IEEE Int. Sym. on Information Theory (ISIT)*, July 2016

Goldfeld, Z.; Kramer, G.; Permuter, H.: Cooperative Broadcast Channels with a Secret Message. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015

Goldfeld, Z.; Kramer, G.; Permuter, H.; Cuff, P.: Strong Secrecy for Cooperative Broadcast Channels. - In: *Int. Zurich Seminar on Communications*, March 2016

Günlü, O.; İşcan, O.: Transform Coding for Physical Unclonable Functions. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Günlü, O.; İşcan, O.; Kramer, G.: Reliable Secret Key Generation from Physical Unclonable Functions under Varying Environmental Conditions. - In: *IEEE Int. Workshop Inf. Forensics and Security*, Nov. 2015

Günlü, O.; Kramer, G.; Skorski, M.: Privacy and Secrecy with Multiple Measurements of Physical and Biometric Identifiers. - In: *IEEE Conf. Comm. and Network Security*, Sept. 2015

Heindlmaier, M.; Reyhanian, N.; Saeedi Bidokhti, S.: On Capacity Regions of Two-Receiver Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. - In: *Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, Oct. 2014

Heindlmaier, M.; Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Regions of Two-User Broadcast Erasure Channels with Feedback and Hidden Memory. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015

Heindlmaier, M.; Soljanin, E.: Isn't Hybrid ARQ Sufficient? - In: *Allerton Conf. Comm., Control, Comp.*, Oct. 2014

Heindlmaier, M.; Staudacher, M.: Iterative Decoding for Noisy Network Coding for Two-Way Relay Channels. - In: *Int. Symp. Turbo Codes & Iter. Inf. Proc. 2016*, Sept. 2016

Hiller, M.; Pehl, M.; Kramer, G.; Sigl, G.: Algebraic Security Analysis of Key Generation with Physical Unclonable Functions. - In: *PROOFS: Security Proofs for Embedded Systems*, Aug. 2016

İşcan, O.; Land, I.; Lechner, G.: Repeat-Accumulate Codes for Broadcast Channels with Side Information. - In: *International ITG Conference on Systems, Communications and Coding*, Feb. 2015

Kramer, G.: Capacity of Deterministic, Half-duplex, Line Networks with Two Sources. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop*, Apr. 2015

Kramer, G.: Coded Modulation and its Application to Fiber-Optic Communication Systems. - In: *OSA Advanced Photonics Congress*, July 2016

Kramer, G.; Yousefi, M. I.; Kschischang, F.: Upper Bound on the Capacity of a Cascade of Nonlinear and Noisy Channels. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop*, Apr. 2015

Leinonen, M.; Codreanu, M.; Juntti, M.; Kramer, G.: Rate-distortion Lower Bound for Compressed Sensing via Conditional Remote Source Coding. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop*, Sept. 2016

Li, W.; Nielsen, J. S. R.; Puchinger, S.; Sidorenko, V.: Solving Shift Register Problems over Skew Polynomial Rings using Module Minimisation. - In: *The Ninth International Workshop on Coding and Cryptography 2015*, Apr. 2015

Napp, D.; Pinto, R.; Sidorenko, V.: Concatenation of Convolutional Codes and Rankmetric Codes for Multi-shot Network Coding. - In: *Network Coding and Designs, Final Conference of COST Action IC1104*, Apr. 2016

Nedelcu, A.; Kramer, G.: Sensitivity of Information Rates of Matching Circuits for Antenna Arrays. - In: *Workshop on Smart Antennas*, March 2016

Nguyen, K. N.; Timo, R.; Rasmussen, L.: Causal-CSIT Rate Adaptation for Block-Fading Channels. - In: *IEEE International Symposium on Information Theory*, June 2015

Palzer, L.: Signaling over the Gaussian Channel with Intermittent Feedback. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015

Palzer, L.; Timo, R.: A Converse for Lossy Source Coding in the Finite Blocklength Regime. - In: *International Zurich Seminar on Communications (Izs)*, March 2016

Palzer, L.; Timo, R.: Fixed-length Compression for Letter-based Fidelity Measures in the Finite Blocklength Regime. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, July 2016

Palzer, L.; Timo, R.: A Lower Bound for the Rate-distortion Function of Spike Sources that is Asymptotically Tight. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop (ITW)*, Sept. 2016

Panzner, B.; Zirwas, W.; Dierks, S.; Lauridsen, M.; Mogensen, P.; Pajukoski, K.; Miao, D.: Deployment and Implementation Strategies for Massive MIMO in 5G. - In: *IEEE Globecom 2014 Workshop - Massive MIMO: From Theory to Practice*, Dec. 2014

Saeedi Bidokhti, S.; Kramer, G.: Capacity of Two-Relay Diamond Networks with Rate-Limited Links to the Relays and a Binary Adder Multiple Access Channel. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, July 2016

Steiner, F.; Schulte, P.: Design of Robust, Protograph Based LDPC Codes for Rate-Adaptation via Probabilistic Shaping. - In: *International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing*, Sept. 2016

Steiner, F.; Mezghani, A.; Swindehurst, L.; Nossek, J. A.; Utschick, W.: Turbo-Like Joint Data-and-Channel Estimation in Quantized Massive MIMO Systems. - In: *Workshop of Smart Antennas*, March 2016

Stinner, M.; Barletta, L.; Olmos, P. M.: Finite-Length Scaling Based on Belief Propagation for Spatially Coupled LDPC Codes. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, July 2016

Thangaraj, A.; Kramer, G.; Böcherer, G.: Capacity Upper Bounds for Discrete-time Amplitude-constrained AWGN Channels. - In: *IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015

Timo, R.: Tracking Unstable Linear Systems over Discrete Memoryless Channels. - In: *Seminar at Huawei Technologies' Mathematical and Algorithmic Sciences Laboratory, Paris*, Sept. 2015



Timo, R.; Wigger, M.: Slepian-Wolf Coding for Broadcasting with Cooperative Base-Stations. - In: *IEEE International Symposium on Information Theory*, June 2015

Timo, R.; Wigger, M.: Joint Cache-Channel Coding over Erasure Broadcast Channels. - In: *IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, Aug. 2015

Wigger, M.; Timo, R.: Testing Against Independence with Multiple Decision Centers. - In: *International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)*, June 2016

Wigger, M.; Timo, R.; Shamai, S.: Conferencing in Wyner's Asymmetric Interference Network: Effect of Number of Rounds. - In: *IEEE Information Theory Workshop*, May 2015

Wigger, M.; Timo, R.; Shamai, S.: Complete Interference Mitigation through Receiver-caching in Wyner's Networks. - In: *IEEE Information Theory Workshop (ITW)*, Sept. 2016

Wu, Y.: Coding Schemes for Discrete Memoryless Multicast Networks with and without Feedback. - In: *53rd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, Sept. 2015

Wu, Y.: Coding Schemes for Discrete Memoryless Multicast Networks with Rate-limited Feedback. - In: *Information Theory Workshop - Fall (ITW), 2015 IEEE*, Oct. 2015

Yousefi, M. I.; Kramer, G.; Kschischang, F.: Upper Bound on the Capacity of the Nonlinear Schroedinger Channel. - In: *Canadian Workshop on Information Theory (CWIT)*, June 2015

Yousefi, M. I.; Kschischang, F. R.; Kramer, G.: Upper Bound on the Capacity of the Single-user Nonlinear Schroedinger Channel. - In: *Can. Workshop Inf. Theory*, July 2015

Zaidi, A.; Moussa, M. A.; Timo, R.: Bounds on the Benefits of Interaction in Distributed Source Coding for Function Computation. - In: *IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, Aug. 2015

Alvarado, A.; Szczechinski, L.; Fehenberger, T.; Paskov, M.; Bayvel, P.: Improved Soft-decision Forward Error Correction via Post-processing of Mismatched Log-likelihood Ratios. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

Eriksson, T. A.; Fehenberger, T.: Mutual Information Characterization of Non-linear Fiber Channels. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

Eriksson, T. A.; Fehenberger, T.; Hanik, N.; Anderson, P. A.; Karlsson, M.; Agrell, E.: Four-Dimensional Estimates of Mutual Information in Coherent Optical Communication Experiments. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2015

Eriksson, T. A.; Lorences-Riesgo, A.; Johannesson, P.; Fehenberger, T.; Andrekson, P. A.; Karlsson, M.: Achievable Rates Comparison for Phase-conjugated Twin-waves and PM-QPSK. - In: *Optoelectronics and Communications Conference (OECC)*, July 2016

8

Veröffentlichungen
Patente, Vorträge

Fehenberger, T.; Böcherer, G.; Alvarado, A.; Hanik, N.: LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems. - In: *Optical Fiber Conference (OFC)*, March 2015

Fehenberger, T.; Eriksson, T.; Alvarado, A.; Karlsson, M.; Agrell, E.; Hanik, N.: Improved Achievable Information Rates by Optimized Four-dimensional Demappers in Optical Transmission Experiments. - In: *Optical Fiber Conference (OFC)*, March 2016

Fehenberger, T.; Eriksson, T. A.; Johannisson, P.; Karlsson, M.; Hanik, N.: On the Impact of Carrier Phase Estimation on Phase Correlations in Coherent Fiber Transmission. - In: *Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications (TIWDC)*, Sept. 2015

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Analysis of Forward Error Correction and Achievable Rates for Optical Fiber Systems. - In: *International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, July 2015

Fehenberger, T.; Hanik, N.: Multi-dimensional Demappers for Optical Fiber Systems with Soft-decision Forward Error Correction. - In: *International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, July 2016

Fehenberger, T.; Mazur, M.; Eriksson, T. A.; Karlsson, M.; Hanik, N.: Experimental Analysis of Correlations in the Nonlinear Phase Noise in Optical Fiber Systems. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

Fehenberger, T.; Yankov, M.; Barletta, L.; Hanik, N.: Compensation of XPM Interference by Blind Tracking of the Nonlinear Phase in WDM Systems with QAM Input. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2015

Gonzalez de Dios, O.; Casellas, R.; Paolucci, F.; Napoli, A.; Gifre, L.; Annoni, S.; Belotti, S.; Feiste, U.; Rafique, D.; Bohn, M.; Bigo, S.; Dupas, A.; Dutisseuil, E.; Fresi, F.; Guo, B.; Hugues, E.; Layec, P.; López, V.; Meloni, G.; Misto, S.; Morro, R.; Rahman, T.; Khanna, G.; Martínez, R.; Vilalta, R.; Cugini, F.; Poti, L.; D'Erico, A.; Muñoz, R.; Shu, Y.; Yan, S.; Yan, Y.; Zervas, G.; Nejabati, R.; Simeonidou, D.; Velasco, L.; Fernández-Palacios, J.: First Demonstration of Multi-vendor and Multi-domain EON with S-BVT and Control Interoperability over Pan-European Testbed. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2015

Khanna, G.; Calabò, S.; Spinnler, B.; De Man, E.; Hanik, N.: Joint Adaptive Pre-Compensation of Transmitter I/Q Skew and Frequency Response for High Order Modulation Formats and High Baud Rates. - In: *Optical Fiber Communications Conference*, March 2015

Khanna, G.; Rahman, T.; De Man, E.; Riccardi, E.; Pagano, A.; Piat Chiodo, A.; Spinnler, B.; Calabò, S.; Rafique, D.; Feiste, U.; de Waardt, H.; Sommerkorn-Krombholz, B.; Drenski, T.; Bohn, M.; Napoli, A.; Hanik, N.: Comparison of Single Carrier 200G 4QAM, 8QAM and 16QAM in a WDM Field Trial Demonstration over 612 km SSMF. - In: *European Conference of Optical Communications (ECOC)*, Sept. 2016

Khanna, G.; Spinnler, B.; Calabò, S.; De Man, E.; Feiste, U.; Drenski, T.; Hanik, N.: 400G Single Carrier Transmission in 50 GHz Grid Enabled by Adaptive Digital Pre-Distortion. - In: *ITG Workshop 5.3.1*, Feb. 2016

Khanna, G.; Spinnler, B.; Calabò, S.; De Man, E.; Feiste, U.; Drenski, T.; Hanik, N.: 400G Single Carrier Transmission in 50 GHz Grid Enabled by Adaptive Digital Pre-Distortion. - In: *Optical Fiber Communications Conference*, March 2016

Kuschnerov, M.; Sleiffer, V. A. M. J.; Chen, Y.; De Man, E.; Chen, Y.; Liu, Z.; Sandoghchi Seyad, R.; Jasion Gregory, T.; Bradley, T.; Numkam Fokoua, E.; Hayes, J.; Wheeler, N. V.; Gray, D. R.: Data Transmission through up to 74.8 km of Hollow-Core Fiber with Coherent and Direct-Detect Transceivers. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sep. 2015

Maher, R.; Lavery, D.; Liga, G.; Paskov, M.; Alvarado, A.; Fehenerger, T.; Bayvel, P.; Capacity Approaching Transmission Using Probabilistic Shaping and DBP for PFE Constrained Submarine Optical Links. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

Napoli, A.; Rahman, T.; Khanna, G.; Berenguer, P.; Spinnler, B.; Calabò, S.; Fischer, J.; Bohn, M.: Digital Pre-Distortion Techniques for Next Generation Bandwidth Variable Transponders. - In: *Signal Processing in Photonic Communications (SPPCom)*, July 2016

Rafique, D.; Rahman, T.; Spinnler, B.; Pincemin, E.; Calabò, S.; De Man, E.; Feiste, U.; Slovák, J.; Napoli, A.; Bouëtte Le, C.; Jauffrit, J.; Bordais, S.; Khanna, G.; Hanik, N.; Okonkwo, C.; Kushnerov, M.; Konnen, M. J. A.; Dourthe, C.; Raguenes, B.; Drenski, T.; Sommerkorn-Krombholz, B.; Waardt de H., Bohn, M.: Multi-flex Field Trial over 762km of G.652 SSMF using Programmable Modulation Formats up to 64QAM. - In: *Optical Fiber Communications Conference*, March 2016

Rahman, T.; Rafique, D.; Spinnler, B.; Pincemin, E.; Bouëtte, C.; Jauffrit, J.; Calabò, S.; De Man, E.; Bordais, S.; Feiste, U.; Solvak, J.; Napoli, A.; Khanna, G.; Hanik, N.; Waardt, H.: Record Field Demonstration of C-band Multi-Terabit 16QAM, 32QAM and 64QAM over 762km of SSMF. - In: *Optoelectronics and Communications Conference (OECC)*, June 2015

Spinnler, B.; Khanna, G.; Calabò, S.; De Man, E.; Feiste, Uwe.; Bex, T.; von Kirchbauer, H.: Joint Linear and Non-linear Adaptive Pre-Distortion of High Baud Rate Transmitters for High-order Modulation Formats. - In: *Optoelectronics and Communications Conference (OECC) (invited)*, July 2016

Yankov, M. P.; Da Ros, F.; da Silva, E. P.; Fehenerger, T.; Barletta, L.; Zibar, D.; Oxenløwe, L. K.; Galili, M.; Forchhammer, S.: Experimental Study of Nonlinear Phase Noise and its Impact on WDM Systems with DP-256QAM. - In: *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, Sept. 2016

8.5 Poster

Ahmadian, A.; Zirwas, W.; Siva Ganesan, R.; Panzner, B.; Kramer, G.: Complexity Analysis of Large CoMP Areas with Sparse Massive MIMO Channel Matrices. – In: *TUM-COM Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

LNT

Amjad, R. A.: Algorithms for Distribution Matching and Resolution Coding. - In: *SP Coding and Information School*, Jan. 2015

Amjad, R. A.: Sparse and Concatenated Codes for Channel Resolvability. - In: *Summer School on Information Processing for Large Networks*, June 2015

Amjad, R. A.: Information Theoretic Clustering. - In: *European School of Information Theory (ESIT)*, Apr. 2016

Barletta, L.: Bounds on the Capacity of Wiener Phase Noise Channels. - In: *TUM-IAS General Assembly 2015*, Apr. 2015

Bartz, H., Sidorenko, V.: List and Probabilistic Unique Decoding of Folded Subspace Codes. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Böcherer, G.; Schulte, P.; Steiner, F.: Probabilistic Amplitude Shaping: Rate-Adaptive LDPC Coded Modulation. - In: *Bell Labs Future X Days*, Nov. 2014

Böcherer, G.; Schulte, P.: Probabilistic Amplitude Shaping: Rate-Adaptive LDPC Coded Modulation. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Brauchle, J.: An Introduction to Asymptotic Multi-Trial GMD Decoding with Arbitrary Error/Erasures Tradeoff. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Dierks, S.: MIMO and Massive MIMO - Analysis for a Local Area Scenario. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Dierks, S.: MIMO and Massive MIMO - Analysis for a Local Area Scenario. - In: *Munich Workshop on Massive MIMO (MMM 2015)*, LNT/TUM, Oct. 2015

Dierks, S.: EIRP Constraints for Massive MIMO Arrays. - In: *TUM-COM Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

Günlü, O.: Cryptographic Key Generation from Physics - PUFs. - In: *Bell-Labs Alcatel-Lucent Future X Days*, Nov. 2014

Günlü, O.: Secret Key Generation from Physics. - In: *SPCoding*, Jan. 2015

Günlü, O.: Transform Coding for Physical Unclonable Functions. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Günlü, O.; Kramer, G.: Privacy and Secrecy with Noisy Physical and Biometric Identifiers. - In: *IEEE Eur. School of Inf. Theory*, Apr. 2016

Heindlmaier, M.; Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Regions of 2-User Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)* and *European School of Information Theory (ESIT)*, March 2015

İşcan, O.: Quantize-Forward Relaying with Two-Step Decoding for the Two-Way Relay Channel. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Nedelcu, A.: Matching for Dense Antenna Arrays. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Nedelcu, A.: Compact MIMO Systems. - In: *Munich Workshop on Massive MIMO (MMM 2015)*, LNT/TUM, Oct. 2015

Nedelcu, A.: No Cell MIMO vs Small Cells for 5G. - In: *TUM-COM Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

Palzer, L.: Information Theory for Quantized Compressed Sensing. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Palzer, L.: The Gaussian Channel with Intermittent Feedback. - In: *Eur. School Inf. Theory (ESIT)*, Apr. 2015

Palzer, L.; Timo, R.; Kramer, G.: Lossy Compression of Spike Sources in the Low Distortion Regime. - In: *Eur. School Inf. Theory (ESIT)*, Apr. 2016

Pikus, M., Kramer, G., Böcherer, G.: Discrete Signaling for Non-Coherent, Single-Antenna, Rayleigh Block-Fading Channels. - In: *Eur. School of Inf. Theory (ESIT)*, Apr. 2016

Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Regions of Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Schulte, P.: Constant Composition Distribution Matching. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Schulte, P.: Constant Composition Distribution Matching. - In: *Eur. School Inf. Theory (ESIT)*, Apr. 2015

Schulte, P.: Non-Binary Low Density Parity Check Codes. - In: *TUM-COM Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

Schulte, P.: Non-Binary Low Density Parity Check Codes. - In: *Eur. School Inf. Theory (ESIT)*, Apr. 2016

Staudacher, M.: Massive MIMO Transmitter Design. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Staudacher, M.: 1 Bit Massive MIMO Transmitter. - In: *TUM-COM Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

Stinner, M.; Olmos, P. M.: On the Finite-length Scaling of Convolutional MET LDPC Codes. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Wu, Y.: Coding Schemes for Discrete Memoryless Broadcast Channels with Rate-Limited Feedback PDFs of the posters can be found under the URL. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Yousefi, M. I.; Kramer, G.; Kschischang, F.: Modeling Interference in Optical Fiber Communication. - In: *TUM-IAS General Assembly*, Apr. 2015

Fehenberger, T.: LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

LÜT

Khanna, G.: A Robust Adaptive Digital Pre-distortion Method for Optical Communication Transmitters. - In: *Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber* (MIO 2015), LNT/TUM, Dec. 2015

Oberleithner, E.: Impulsive Noise Mitigation in In-Vehicle PLC Systems. - In: *17th Joint Conf. on Coding and Comm. (JCCC)*, March 2015

Wang, X.; Calabro, S.; Spinnler, B.; Khanna, G.; Lankl, B.: Advanced Receiver Design enables PDM-16QAM DWDM Transmission over 2660 km of



SSMF with Only EDFA. - In: *European Conference of Optical Communications (ECOC)*, Sept. 2016

8.6 Patente - Patents

Kramer, G.: Distributed Transmission Involving Cooperation between a Transmitter and a Relay. In: *9025641*, 2015-05

van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Nuzman, C.; Whiting, P.: Communication System for Transmitting Sync-flags and Pilot Symbols and Method. In: *8630383*, 2014-01

Ashikhmin, A.; van Wijngaarden, A.; Kramer, G.; Maes, J.; Nuzman, C.; Posthuma, C.; van Bruyssel, D.; Verlinden, J.; Whiting, P.; Zivkovic, M.: Optimizing Precoder Settings using Average SINR Reports for Groups of Tones. In: *8830812*, 2014-09

8.7 Vorträge - Talks

LNT

Barletta, L.: Information-theoretic Results for Phase Noise Channels - In: *Munich Workshop on Inf. Theory of Optical Fiber* (MIO 2014), LNT/TUM, Dec. 2014

Barletta, L.: Information-theoretic Results for Phase Noise Channels. - In: *Politecnico di Milano*, Dec. 2014

Barletta, L.: Information-theoretic Results for Phase Noise Channels. - In: *Munich workshop on information theory of optical fiber*, Dec. 2014

Barletta, L.; Borgonovo, F.; Filippini, I.: Asymptotic Analysis of Schoute's Estimate for Dynamic Frame Aloha. - In: *International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, Sept. 2015

Bartz, H.: Efficient Interpolation-Based Decoding of Interleaved Subspace and Gabidulin Codes. - In: *Sitzung der ITG-Fachgruppe Angewandte Informationstheorie*, Oct. 2014

Bartz, H.; Sidorenko, V.: On Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon and Gabidulin Codes. - In: *Invited talk, Moscow University for Physics and Technology*, Feb. 2016

Bartz, H.; Sidorenko, V.: Analysis of Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon and Related Codes. - In: *2nd LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, July 2016

Bartz, H.; Sidorenko, V.: Folded Subspace Codes. - In: *Invited Talk*, May 2015

Brauchle, J.; Sidorenko, V.: An Introduction to Asymptotic Multi-Trial GMD Decoding with Arbitrary Error/Erasures Tradeoff. - In: *Joint Conference on Communications and Coding (JCCC)*, March 2015

Böcherer, G.: Probabilistic Signal Shaping for Modulation and Coding. - In: *Seminar at Associate Institute for Signal Processing, TU Munich*, Dec. 2014

Böcherer, G.: Bandwidth Efficient and Rate-Compatible Low-Density Parity-Check Coded Modulation. - In: *Seminar at UCLA Communications Systems Laboratory*, March 2015



Böcherer, G.: Bandwidth Efficient and Rate-Matched Low-Density Parity-Check Coded Modulation. - In: *Seminar at NCTU Institute of Communications Engineering*, Apr. 2015

Böcherer, G.: Probabilistic Amplitude Shaping for Higher-order Modulation. - In: *Munich Workshop on Modulation and Coding* (MCM 2015), LNT/TUM, July 2015

Böcherer, G.: Polar Codes: A Candidate for 5G. - In: *Center of Competence Communications (TUM-COM) Workshop on 5G Mobile Technology*, March 2016

Böcherer, G.: Coding and Modulation for Communication at the Shannon Limit. - In: *LNT Communications Seminar*, Apr. 2016

Böcherer, G.: Experimental Information Theory: Achievable Rates from Measurements. - In: *Bertinoro Workshop on Commun. and Coding*, May 2016

Böcherer, G.: On Surrogate Channels for Code Design. - In: *Second LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, July 2016

Böcherer, G.: Bandwidth Efficient and Rate-Compatible Low-Density Parity-Check Coded Modulation. - In: *Seminar at UCLA Communications Systems Laboratory*, March 2015

Böcherer, G.; Fehenberger, T.: LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems - In: *Munich Workshop on Inf. Theory of Optical Fiber* (MIO 2014), LNT/TUM, Dec. 2014

Dierks, S.: (Network) Massive MIMO - Analysis for a Local Area Scenario. - In: *University of California, Los Angeles*, Aug. 2016

Geiger, B. C.: Information Theory for Markov Aggregation and Clustering. - In: *Invited Talk at Signal Processing Group, Universidad de Carlos III de Madrid*, Sept. 2016

Geiger, B. C.: Markov State Space Aggregation via the Information Bottleneck Method. - In: *Theoretical Foundations of Machine Learning Conference*, Feb. 2015

Geiger, B. C.: Informationstheoretische Reduktion von Markov-Ketten und Hidden Markov Models. - In: *Bavarian Academy of Sciences and Humanities*, Jan. 2016

Geiger, B. C.: The Fractality of Polar Codes. - In: *NEWCOM Emerging Topics Workshop*, June 2015

Geiger, B. C.: The Fractality of Polar Codes. - In: *Second LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, July 2016

Günlü, O.: Transform Coding for Physical Unclonable Functions (PUFs). - In: *ITG Applied Information Theory Meeting*, Apr. 2015

Günlü, O.; Kramer, G.: Privacy, Secrecy and Storage with Multiple Measurements of Noisy Identifiers. - In: *TU Berlin (Invited Talk)*, June 2016

Hagenauer, J.: In den Fußstapfen von Hans Marko. - In: *Kolloquium zum 90. Geburtstag von Professor Marko*, LNT/TUM, Feb. 2015

Hagenauer, J.: Shannon and Genetics. - In: *Claude Elwood Shannon 100th Birthday Celebration*, Heinz-Nixdorf-Museum Paderborn, May 2015

Heindlmaier, M.; Reyhanian; N.; Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Regions of Two-Receiver Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. - In: *Information Theory and Applications Workshop*, Feb. 2015

İşcan, O.: Coding for Quantize-Forward based Two-way Relaying. - In: *24. Sitzung der Fachgruppe 'Angewandte Informationstheorie' des ITG Fachausschusses*, Oct. 2014

Kramer, G.: Der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik 2015. - In: *Kolloquium zum 90. Geburtstag von Professor Marko*, LNT/TUM, Feb. 2015

Kramer, G.: Information Theory and Optical Fiber: Light Years ahead. - In: *TUM-IAS General Assembly*, Apr. 2015

Kramer, G.: Bounds on the Capacity of a Cascade of Channels with Applications to Optical Fiber. - In: *SPOC Workshop*, Aug. 2015

Kramer, G.: Capacity Bounds for Diamond Networks. - In: *Bertinoro Workshop on Communications and Coding*, May 2016

Kramer, G.: Information Rates for Phase Noise Channels. - In: *Van der Meulen Seminar*, Sept. 2016

Kramer, G.: Capacity Bounds for Diamond Networks. - In: *DIMACS Workshop on Network Coding: the Next 15 Years*, Dec. 2015

Kramer, G.: A Study of Capacity and Spectral Efficiency of Fiber Channels. - In: *Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber*, Dec. 2015

Kramer, G.: Information Theory for Diamond Networks such as Distributed MIMO. - In: *Nordic Workshop on System and Network Optimization for Wireless (SNOW)*, Jan. 2016

Kramer, G.: Communication Rates for Phase Noise Channels. - In: *Doctoral School, IEEE Spain Information Theory Chapter*, July 2015

Kramer, G.: Upper Bounds on the Capacity of Fiber Channels. - In: *WITMSE Workshop*, June 2015

Kramer, G.: A Study of Capacity and Spectral Efficiency of Fiber Channels. - In: *Munich Workshop on Inf. Theory of Optical Fiber (MIO 2015)*, LNT/TUM, Dec. 2015

Kramer, G.: Secrecy and Stealth for the Wiretap Channel. - In: *National University of Singapore*, Feb. 2016

Kramer, G.: Bounds on the Capacity of Optical Fiber Channels. - In: *IEEE Information Theory Society Distinguished Lecture*, June 2016

Kramer, G.: Achievable Rates and Upper Bounds on the Capacity of Optical Fiber Channels. - In: *IEEE Distinguished Lecture*, July 2015

Kramer, G.: Probabilistic Amplitude Shaping for High-Rate Communications. - In: *Int. Symp. Turbo Codes & Iterative Inf. Proc.*, Sept. 2016



Kramer, G.; Ghozlan, H.: On Continuous-Time Wiener Phase Noise Channels. - In: *Eurecom*, Jan. 2015

Kramer, G.; Ghozlan, H.: Information Rates for Wiener Phase Noise Channels. - In: *Chalmers University*, Apr. 2015

Kschischang, F.; Yousefi, M. I.; Kramer, G.: Kolmogorov-Zakharov Model for Optical Fiber Communication. - In: *IEEE Inf. Theory Workshop*, Apr. 2015

Palzer, L.: Lossy Source Coding with Letter-based Constraints. - In: *Seminar at Universidad Carlos III de Madrid*, June 2016

Palzer, L.: Error Exponents for the Gaussian Channel with Intermittent Feedback. - In: *LTI Hauptseminar*, Nov. 2015

Palzer, L.: Rate-distortion Analysis of Sparse Sources with Multiple Constraints. - In: *1st DFG-SPP 1798 (CoSIP) Colloquium*, July 2016

Prinz, T.: Polar Codes for Probabilistic Amplitude Shaping. - In: *2nd LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, July 2016

Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Regions of Two-receiver Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory. - In: *Talk at Eurecom*, Sept. 2015

Saeedi Bidokhti, S.: Capacity Bounds for Diamond Networks with an Orthogonal Broadcast Channel. Talk at Princeton University, Stanford University, New York University, Nov. 2015

Saeedi Bidokhti, S.; Wigger, M.; Timo, R.: An Upper Bound on the Capacity-memory Tradeoff of Degraded Broadcast Channels. - In: *International Symposium on Turbo Codes & Iterative Information Processing*, Sept. 2016

Sidorenko, V.; Bartz, H.: Decoding Algorithms for Linear Network Coding. - In: *Information Technology and Systems (ITaS)*, Sept. 2015

Söder, G.: Geschichte des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik. - In: *Kolloquium zum 90. Geburtstag von Professor Marko*, LNT/TUM, Feb. 2015

Timo, R.: Communications for Tracking and Control. - In: *Seminar at Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)*, Dec. 2015

Timo, R.: Compression for Letter-based Fidelity Measures. - In: *Seminar at Telecom ParisTech*, March 2016

Timo, R.: Compression for Letter-based Fidelity Measures. - In: *Seminar at École nationale supérieure de l'électronique et de ses applications*, March 2016

Timo, R.: A Rate-distortion Approach to Data Caching. - In: *Seminar at Bertinoro Workshop on Communications and Coding*, May 2016

Wu, Y.: Coding Scheme for Multicast Network with/without Feedback. - In: *Bertinoro Workshop on Commun. and Coding*, May 2016

Yousefi, M.I.: Kolmogorov-Zakharov Model for Optical Fiber Communication - In: *Munich Workshop on Inf. Theory of Optical Fiber* (MIO 2014), LNT/TUM, Dec. 2014

8

Veröffentlichungen
Patente, Vorträge

LÜT

Yousefi, M.I.: Outline of a Research Program to Address the Capacity Bottleneck Problem in Optical Fiber- In: *Munich Workshop on Inf. Theory of Optical Fiber* (MIO 2015), LNT/TUM, Dec. 2015

Yuan, P.: Short Polar Codes. - In: *2nd LNT & DLR Summer Workshop on Coding*, July 2016

Fehenberger, T.: Achievable Rates for Fiber-Optic Communications. - Chalmers University of Technology, May 2015

Fehenberger, T.: Compensation of XPM Interference by Blind Tracking of the Nonlinear Phase in WDM Systems with QAM Input. – In: Workshop Future Photonics, HSU Hamburg, Sep. 2015

Fehenberger, T.; Böcherer, G.: LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems. - In: *Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber* (MIO 2014), LNT/TUM, Dec. 2014

Fehenberger, T.: Probabilistic Shaping of High-Order QAM for Optical Fiber Systems. - In: *Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber* (MIO 2015), LNT/TUM, Dec. 2015

Hanik, N.: Genealogy of the Nonlinear Schroedinger Equation. LNT/TUM, July 2015

Khanna, G.; Calabro, S.; Spinnler, B.; De Man, E.; Hanik, N.: Joint Adaptive Pre-Compensation of Transmitter I/Q Skew and Frequency Response for High Order Modulation Formats and High Baud Rates. - In: *ITG-Workshop 5.3.1*, Feb. 2015

9

Veranstaltungen

9.1 24. Sitzung der ITG-Fachgruppe „Angewandte Informationstheorie“, LNT/TUM, 8. und 9. Okt. 2014

Onurcan İşcan und Markus Stinner

Im Herbst 2014 fand am LNT die 24. Sitzung der ITG-Fachgruppe „Angewandte Informationstheorie“ statt. Nach der Begrüßung durch Prof. Kramer und den Fachgruppenvorsitzenden Dr. Wübben gab es ein dreistündiges Tutorial „Code Design in the Short Block Length Regime“ von Dr. Liva (DLR) und am zweiten Tag 18 interessante Kurzbeiträge:

- **H. Bartz**, LNT/TUM:
Efficient Interpolation-based Decoding of Interleaved Subspace and Gabidulin Codes
- **P. Schulte**, LNT/TUM:
Fixed Length Distribution Matching
- **Najeeb ul Hassan**, TU Dresden:
Carrier Grade Wireless using Spatial Coupling
- **M. Riemensberger**, MSV/TUM:
Submodularity and Quantization Optimization for Noisy Network Coding in Gaussian Multiple Access Relay Networks
- **O. İşcan**, LNT/TUM:
Coding for Quantize-Forward based Two-Way Relaying
- **M. Heindlmaier**, LNT/TUM:
Message Passing Decoder for Noisy Network Coding for the Two-way Relay Channel
- **S. Puchinger**, Universität Ulm:
Error Correction for Differential Linear Network Coding in Slowly-Varying Networks
- **M. Stinner**, LNT/TUM:
Finite-length Behavior of Proto-

graph-based Spatially Coupled LDPC Codes

- **M. Cyran**, FAU Erlangen:
Random Linear Network Coding in Layered Networks
- **Ch. Rachinger**, FAU Erlangen:
Low-Latency Constrained Coding: Convolutional Codes vs LDPC Codes
- **F. Wäckerle**, Universität Ulm:
Multistage Bit-wise Receivers for Four-Dimensional Spherical Codes
- **T. Delamotte**, UniBW München:
Empfänger-Design für MIMO Satellitensysteme mit Time-Packing
- **O. Graur**, Universität Bremen:
Reconciliation Procedures for Physical-Layer Key Generation
- **S. Müelich**, Universität Ulm:
Error Correction for Physical Unclonable Functions using Generalized Concatenated Codes
- **R. Fritschek, G. Wunder**, TUB:
Multiuser GDoF Gains in Cellular Networks: Achievable Rates and Upper Bounds beyond the Interference Channel Regimes
- **S. Ghorekhloo**, Uni Bochum:
Extended Generalized DoF Optimality Regime of Treating Interference as Noise in the X Channel
- **J. Deutschmann**, FAU Erlangen:
Network Simulation for Powerline Protocols with Direct Code Execution Applied to DLC®-3000 SFN
- **S. Günther**, INF/TUM:
Feedback in Coded Wireless Packet Networks

9.1 ITG-Fachgruppensitzung,
LNT/TUM, Okt. 2014

9.2 Workshop MIO 2014, LNT/
TUM, Dez. 2014

9.3 Geburtstagskolloquium für
Professor Hans Marko (90)
LNT/TUM, Feb. 2015

9.4 17th JCCC, Stilfs/Italien,
März 2015

9.5 Workshop MCM 2015,
LNT/TUM, Juli 2015

9.6 Workshop MMM 2015,
LNT/TUM, Okt. 2015

9.7 Workshop MIO 2015, LNT/
TUM, Dez. 2015

9.8 TUM/COM-Workshop on
5G, Stilfs/Italien, März 2016

9.9 Zum 100. Geburtstag
von Claude E. Shannon,
Paderborn, Mai 2016

9.10 Workshop Communications
& Coding, Bertinoro/Italien,
Mai 2016

9.11 Workshop MCI 2016, LNT/
TUM, Mai 2016

9.12 LNT & DLR Workshop
on Coding, LNT/TUM, Juli
2016

9.2 Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber (MIO 2014), LNT/TUM, 10. und 11. Dez. 2014

Tobias Fehenberger, Mansoor Yousefi, Luca Barletta und Gerhard Kramer

motivation was simply to bring together leading scientists working on the information theory of optical fiber, an area that is for the most part underrepresented at information-theoretic conferences and also at the large optics conferences, such as ECOC and OFC. The aim of the workshop was to explore new ideas and advance understanding, and to promote interaction and collabora-

tion among experts working on different aspects of the topic.

For MIO 2014, we had the pleasure of having twelve experts on information theory and fiber optics presenting fundamental concepts along with their recent results. The names of the speakers and their titles can be found in the box on this page. During the two workshop days, the main topics were:

Talks at MIO 2014

Dr. Mansoor I. Yousefi, LNT/TUM:

Kolmogorov-Zakharov Model for Optical Fiber Communication

Prof. Sergei Turitsyn, Aston University, UK:

Nonlinear Communication Techniques for Fiber-optic Channels

Prof. René-Jean Essiambre, Alcatel-Lucent, Bell Labs, USA & IAS/TUM
Overview of the Nonlinear Shannon Capacity Limit in Fibers

Dr. Cristian Antonelli & Prof. Antonio Mecozi, Univ. of L'Aquila, Italy:
Space Division Multiplexing for the Future Transport Networks

Dr. Luca Barletta, LNT/TUM:

Information-theoretic Results for Phase Noise Channels

Prof. Darko Zibar, Technical University of Denmark, Denmark:

Application of Machine Learning Techniques for Amplitude and Phase Noise Characterization

Dr. Georg Böcherer & Dipl.-Ing. Tobias Fehenberger, LNT/TUM:
LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems

Dr. Ronen Dar, Tel Aviv University, Israel:

Modeling the Nonlinear Fiber-optic Channel

Dr. Laurent Schmalen, Alcatel-Lucent, Bell Labs, USA:

Code Design for Channels Affected by Phase Slips

Dr. Alex Alvarado, University College London, UK:

On Soft FEC for Optical Channels: Is the “FEC limit” a Good Predictor of Post-FEC BER?

Dr. Aris Moustakas, University of Athens, Greece:

Nonlinear Fourier Transform for Fiber-optic Communication

Dr. Metodi Yankov, Technical University of Denmark:

Increasing the Reach of the Fiber-optic Channels by Probabilistic Shaping of QAM Constellations

Im Dezember 2014 fand der erste *Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber* (MIO) statt, finanziell unterstützt durch TUM-IAS Fellowships von Prof. Frank Kschischang und Dr. René-Jean Essiambre. Es gab viele Gründe, einen solchen Workshop zu organisieren. In erster Linie wollten wir führende Wissenschaftler zusammenbringen, die weltweit auf dem Gebiet der Informationstheorie für optische Fasern arbeiten. Bei Konferenzen kommt dieses Thema oft zu kurz.

An den beiden Tagen des Workshops gab es insgesamt zwölf wissenschaftliche Vorträge entsprechend dem nebenstehenden Programm. Diese führten bei den 40 nationalen und internationalen Teilnehmern zu angeregten Diskussionen, die sich auch weit in die Kaffee- und Mittagspausen erstreckten, auch beim Dinner im bekannten Münchener Lokal Franziskaner neben der Oper.

Das Interesse an den Workshop-Themen war groß und die Rückmeldungen so positiv, dass wir ein Jahr später zu MIO 2015 eingeladen haben – dann allerdings schon mit mehr als der doppelten Anzahl an Teilnehmern (siehe Kapitel 9.7). Inzwischen laufen die Vorbereitungen für MIO 2016 (5./6. Dezember).

In the pre-Christmas Advent of 2014, our institute held the first Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber (MIO), which was funded through a TUM Institute for Advanced Study (IAS) Hans Fischer Senior Fellowship for Frank Kschischang from University of Toronto and a TUM IAS Rudolf Diesel Fellowship for René-Jean Essiambre from Bell Labs. There were many reasons for hosting and organizing such an event, and the foremost

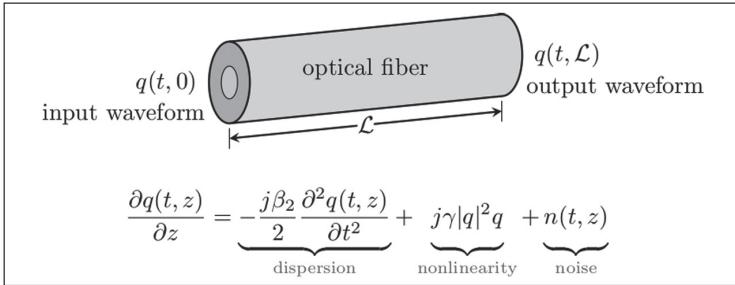


Schaubild zur Thematik des Workshops MIO 2014

- nonlinear Fourier transform, a recently rediscovered method to divide the spectrum of the nonlinear fiber channel into orthogonal, i.e., non-interacting, sub-bands;
- the combination of forward error correction and higher-order modulation, known as coded modulation;
- soft-decision decoding and probabilistic shaping for the nonlinear fiber channel;
- space division multiplexing to increase the data rates of future optical communication systems;
- machine learning to improve the digital signal processing unit of coherent receiver;
- capacity bounds and modeling for the nonlinear fiber channel and related simplified channels, such as phase noise channels.

The workshop had attendees from all over the world. Including the invited speakers, we had about 40 workshop participants from Germany, Greece, France, Italy, UK, Denmark, Sweden, Israel, USA, and Canada. In order to support discussions and exchange between the attendees, a large portion of the workshop time was devoted for scientific discussions. To keep people together, all conference lunches were hosted at LNT so our guests could continue their conversations while queuing up for the Italian and Bavarian lunch buffet. The highlight of the MIO social program was the dinner at Franziskaner next to the Opera house in downtown Munich, to which all workshop participants were invited.

On behalf of the workshop organizing committee (Gerhard Kramer, Mansoor Yousefi, Luca Barletta and Tobias Fehnberger), we would like to thank Frank and René whose

fellowships made the workshop free, the speakers for their excellent talks, the participants for sharing their knowledge, and most importantly our colleagues at LNT who took care of all the small and big issues on-site: Martin Kontny, Erika Herian, Rita Henn-Schlune, Doris Dorn, and Nicole Roßmann. This help and hands-on attitude made MIO possible. MIO turned out to be so successful that a follow-up workshop with more than double the number of attendees was hosted at LNT in December 2015. You can find a separate article in Chapter 9.7.



Vorne von links: E. Agrell, D. Zibar, N. Hanik, B. Lankl, R. Dar, G. Kramer; 2. Reihe: P. Bayvel, A. Alvarado, M. Bernhardt, G. Böcherer, A. Span; 3. Reihe: M. Shtaif, A. Mecozzi, M. Feder, A. Ghazisaeidi, Y. Chen; 4. Reihe: R. J. Essiambre, L. Barletta, F. Kschischang, L. Schmalen; 5. Reihe: C. Antonelli, T. Kernetzky, T. Fehnberger; hinten: M. Yankov, S. Cammerer, S. ten Brink, L. Palzer

9.3 Fest-Kolloquium anlässlich des 90. Geburtstags von Professor Hans Marko, 24. Februar 2015

Gerhard Kramer, Norbert Hanik und Günter Söder

Am 24. Februar 2016 fand am LNT ein Festkolloquium statt, zu dem die Professoren des LNT und der Fakultät eingeladen hatten. Anlass war der 90. Geburtstag unseres Emeritus, Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Marko, den er an diesem Tag feiern konnte. Die Organisation dieser stimmungsvollen Feierstunde lag in den Händen von Prof. Georg Färber und Doris Dorn.

Der Einladung sind mehr als 100 Gäste gefolgt. Im Auditorium saßen neben Familienmitgliedern des Jubilars und den jetzigen LNT-Angehörigen auch viele seiner ehemaligen Kollegen aus unserer Fakultät und anderer Hochschulen sowie 20 seiner 75 Doktoranden und vier seiner neun Habilitanden.

Nach der Begrüßung durch unseren Lehrstuhlinhaber, Professor Gerhard Kramer, sprach Professor Paolo Lugli, Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, ein Grußwort. Er nannte die wichtigsten Stationen der 31 Jahre dauernden Marko-Aera am LNT und würdigte die außergewöhnlich vielen und

hochrangigen Ehrungen des Jubilars. Zu Markos großen Verdiensten aus Sicht der Fakultät gehört zum Beispiel der heutige Name „Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik“, der seinem Verhandlungsgeschick Ende der 70er Jahre zu verdanken ist, aber auch seinem Durchsetzungsvermögen gegenüber anderen Fakultäten, der Hochschulleitung und der Ministerialbürokratie.

Danach gab es fünf Festvorträge. Zunächst fasste Günter Söder die inzwischen 115-jährige Geschichte des LNT und seiner Vorgängerinstitutionen in wenigen Minuten zusammen. Angefangen bei Professor Kurt Heine (Amtszeit von 1900 bis 1931) und seinem Nachfolger Professor Hans Pilony (1931-1962), der als Rektor den Neuaufbau der Fakultät nach den Kriegszerstörungen in Angriff nahm und das Nordgelände erwarb und bebaute, unter anderem unser Institutsgebäude N4. Ab 1949 entwickelte Hans Pilony zusammen mit seinem Sohn Robert sowie Robert Sauer, Walter E. Proebster, Hans-Otto Leilich, Friedrich L. Bauer, Klaus Samelson und Heinz Schecher die Programmgesteuerte Elektronische Rechenanlage München (PERM). Diese Wissenschaftler standen später für den großen Erfolg der TU München auf dem Gebiet der Informationstechnik und der Informatik.

Professor Hans Marko (1962–1993) wurde ebenso wie Heine und Pilony mit 37 Jahren berufen und mit 68 Jahren emeritiert. Er richtete den Lehrstuhl (damals noch: das Institut für Nachrichtentechnik) neu aus und gründete drei Forschungsgruppen, nämlich:

- Nachrichtenübertragung und Weitverkehrssysteme,
- Digitale und kohärent-optische Bildverarbeitung & Mustererkennung,
- Kybernetik und deren Anwendung in biologischen Systemen.

Diese Gruppen waren in den Folgejahren alle sehr erfolgreich und auch Hans Marko hat auf allen diesen un-

A celebration was held on the occasion of the 90th birthday of Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Marko, Head of the Institute for Communication Engineering (LNT) for over 30 years and predecessor of the professors

- Joachim Hagenauer (1993–2006),
- Ralf Kötter (2007–2009), and
- Gerhard Kramer (since 2010).

Official compliments were given by Professor Paolo Lugli, Dean of the TUM Department of Electrical and Computer Engineering, and Professor Gerhard Kramer, Head of LNT.

This was followed by 15 minute talks by Professors Günter Söder, Georg Färber, Jörg Eberspächer, Joachim Hagenauer and Gerhard Kramer. The ceremony concluded with a reception for over 100 guests, including many of Professor Marko's old colleagues from the Department.



Professor Hans Marko und seine Ehefrau Renate Löhning mit den Laudatoren G. Kramer, J. Hagenauer, G. Söder, J. Eberspächer und G. Färber (Foto: Heddergott)

Hans Marko 90 Jahre

Hans Marko, in Kronstadt/Siebenbürgen geboren, studierte von 1946 bis 1951 Nachrichtentechnik an der TH Stuttgart und promovierte 1953 bei Ernst Feldtkeller. Danach entwickelte er bei der Standard Elektrik Lorenz AG in Stuttgart eines der ersten Pulscodemodulation-Systeme in Deutschland. Bereits damals hielt er Vorlesungen an den Hochschulen in Stuttgart und Karlsruhe. 1961 verfasste er seine Habilitationsschrift über die Ausnutzung von Telegrapheikanälen zur Informationsübertragung. Ein Jahr später wurde der damals 37-Jährige in der Nachfolge von Hans Piloty als Leiter des damaligen Instituts für Nachrichtentechnik an die TH München berufen und wirkte 31 Jahre erfolgreich in Lehre und Forschung. Er betreute während dieser Zeit neun Habilitationen und 75 Promotionen. Viele seiner Schüler wurden erfolgreiche Hochschullehrer.

Die von ihm und seinem Institut bearbeiteten Wissenschaftsgebiete seien hier nur stichpunktartig genannt: Anwendung der Systemtheorie in technischen, biologischen und kybernetischen Systemen und deren mehrdimensionale Erweiterung für Bildverarbeitung und Mustererkennung; Weiterentwicklung der Shannonschen Informationstheorie zur bidirektional-orientierten Kommunikationstheorie; theoretische Untersuchungen und praktische Realisierungen von hochratigen digitalen Übertragungssystemen über Kabel und Glasfaser.

Hans Marko ist Autor mehrerer Bücher und von weit mehr als hundert Patenten und Veröffentlichungen. Ihm ist eine Vielzahl hochrangiger Ehrungen zuteil geworden. So ist er Preisträger der Nachrichtentechnischen Gesellschaft und Fellow des *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. 1983 wurde ihm als Erstem der Karl-Küpfmüller-Preis der Informations-technischen Gesellschaft im VDE zuerkannt (inzwischen umbenannt in *Wissenschaftspreis der Informations- und Kommunikationstechnik des ITG*). 1985 erhielt er die Ehrendoktorwürde der TH Darmstadt und 1994 das Verdienstkreuz der Bundesrepublik Deutschland. Und er ist Gründungsmitglied der Academia Scientiarum et Artium Europaea, Salzburg.

Nach seiner Emeritierung 1993 ist Hans Marko seinem ehemaligen Institut stets verbunden geblieben, sowohl seinem direkten Nachfolger Joachim Hagenauer als auch dessen Nachfolger Ralf Köller und Gerhard Kramer. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch seine Teilnahme am *1st Munich Workshop on Bidirectional Communication and Directed Information* im Mai 2012, bei dem er mit dem inzwischen leider verstorbenen Jim Massey und den aktuell führenden Forschern auf diesem Gebiet seine vor 40 Jahren gewonnenen Ergebnisse diskutiert und begründet hat.

G. Kramer, N. Hanik und G. Söder

terschiedlichen Fachgebieten vielfältige und exzellente Beiträge geleistet. Söder erinnerte beispielhaft an die Optimierung und Realisierung von hochratigen Weitverkehrssystemen über Koaxialkabel und Glasfaser, sein Modell der homogenen Schichten für die Mustererkennung und sein Bildqualitätsmodell.

Bei all diesen Arbeiten, die zu über 100 Publikationen geführt haben, hat die Systemtheorie eine wichtige Rolle gespielt. In seinem 1982 erstmals erschienenen Lehrbuch (und

etlichen Auflagen) in seiner eigenen Buchreihe hat er diese auch für Studierende verständlich dargelegt.

Der nächste Vortragende war Georg Färber, einer von Markos ersten Diplomanden (1963) und Doktoranden (1967). Ab 1973 war er als Inhaber des Lehrstuhls für Prozessrechentechnik (später: Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme) einer von Markos engsten Fachkollegen in der Fakultät. Der Titel seines Vortrags lautete: *Ein Doktorand berichtet – IBM 1130 und der Aktentaschencomputer*.

Färber konnte als Zeitzeuge den Übergang der Institutsleitung vom erfahrenen Hans Piloty auf den jungen Hans Marko und den damit verbundenen Paradigmenwechsel beschreiben. Ein Unterschied war zum Beispiel, dass bei Marko jedem Mitarbeiter ein Arbeitsgebiet zugewiesen wurde und damit auch das Promotionsthema von Beginn an klar vorgegeben war.

Färber berichtete auch über die Wahl der IBM 1130 als Laborrechner und die Schwierigkeiten bei der Kopplung des „Servers“ mit einem Interface am Max-Planck-Institut für Psychiatrie (1967). Ein kommerzieller A/D-Wandler kostete zu dieser Zeit immerhin 12.000 DM. Färber vergaß auch nicht, die große Unterstützung durch Professor Marko zu erwähnen, als er zusammen mit einem Kollegen 1968 die Firma WDV GmbH gründete, um das „1130-Interface“ zu vermarkten. Eine der ersten Ausgründungen der TUM!

Abschließend kam Färber auf den Aktentaschencomputer zu sprechen, den Hans Marko und er zum Patent anmeldeten. Ihre Ideen erinnern stark an heutige Tablets:

- ein Akku zur Energieversorgung (er reichte damals nur 2 Stunden),
- ein LCD-Display (gab es 1977 nur S/W und war sehr teuer),
- neben der physikalischen auch eine virtuelle Tastatur,
- Datenverarbeitung (damals gab es nur 8-Bit-Mikroprozessoren),
- Datenspeicher (1-Mbit-RAM war bezahlbar, „Flash“ gab es nicht),
- Datenübertragung (über ein Telefon schaffte man gerade 10 kbit/s).

Leider waren 1977 die beiden Erfinder Georg Färber und Hans Marko der Technologie um 30 Jahre voraus.

Jörg Eberspächer, der Inhaber des Lehrstuhls für Kommunikationsnet-

9

Veranstaltungen

Bereits unter dem Marko-Vorvorgänger Heinke wurde die Vermittlungstechnik ab 1927 durch Honorarprofessor Dr. Wolfgang Steidle in das Lehrangebot aufgenommen. Dieser hatte die Automatische Vermittlungsanlage München-Schwabing gebaut. Auch in der Pilotty- und der frühen Marko-Ära war die Vermittlungstechnik durch den Honorarprofessor

lung“ aus. 1985 wurde dieses enorm expandierende Fachgebiet in „Komunikationsnetze“ umbenannt.

Professor Kurt Fischer war neben Professor Hans Marko die treibende Kraft, dass es mit der Einrichtung des LKN verhältnismäßig schnell ging:

- 1987 stellt die Wirtschaft (Siemens, Nixdorf und andere) Stiftungsmittel in Aussicht.



Gerhard Kramer (Nach-Nach-Nach-Folger)



Paolo Lugli (Dekan)



Günter Söder (Doktorand und Habilitand)



Georg Färber (Doktorand und Kollege)



Jörg Eberspächer (Kollege am LKN)



Joachim Hagenauer (Nachfolger am LNT)

ze in den Jahren 1990–2010, erinnerte bereits zu Beginn seines Vortrags *Wie alles begann ... Hans Marko und der LKN* daran, dass es zu einem großen Teil der Beharrlichkeit des Jubilars zu verdanken ist, dass sein Fachgebiet an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik etabliert wurde.

Dr. Martin Hebel (1946–1964) sowie den Lehrbeauftragten Dr. Hans Pausch, Staatssekretär im Bonner Postministerium (1960–1977), in unserem Institut prominent besetzt.

1977 übernahm Kurt Fischer vom Zentrallaboratorium der Siemens AG die Vorlesung und richtete diese auf den Schwerpunkt „Digitale Vermitt-

- Gleichzeitig nennt Wissenschaftsminister Wild 1989/90 als Beginn für diesen neuen Lehrstuhl.
- Die Berufungskommission (Vorsitz: H. Marko) wird im Januar 1988 eingesetzt.
- Im Juni 1989 wird J. Eberspächer berufen. Der LKN-Betrieb startet im Februar 1990.



Prof. Hans Marko und Frau Dr. Renate Löhning

Jörg Eberspächer wies in seinem Vortrag auch darauf hin, dass die Schaffung der Lehrstühle für Datenverarbeitung und für Prozessrechentechnik ebenfalls von Hans Marko initiiert wurde. Und er bedankte sich ausdrücklich dafür, dass er zum Einstand Dr. Martin Maier samt Stelle von Prof. Marko und dem LNT „quasi geschenkt bekam“.

Der Titel des Vortrags von Joachim Hagenauer lautete: *In den Fußstapfen von Hans Marko*. Hagenauer fand vier Gemeinsamkeiten zwischen der akademischen Lebensleistung seines unmittelbaren Vorgängers und seinem eigenen Wirken am LNT von 1993 bis 2006:

(A) Bei beiden war die Grundlage für Lehre und Forschung eine bereits seit langem etablierte und unangreifbare Theorie. Bei Marko war dies die Systemtheorie, die in allen seinen über 100 Publikationen eine zentrale Rolle gespielt hat. In Markos Lehrbuch in seiner eigenen Buchreihe hat er diese auch für Studierende verständlich dargelegt. Hagenauers Pendant war die Codierungstheorie.

(B) Sie beide haben sich Teilgebiete gesucht, in der sie diese Theorie nutzbringend anwenden konnten. Bei Marko war dies die Nachrichtenübertragung und nach einer mehrdimensionalen Erweiterung die Bildverarbeitung und Mustererkennung. Hagenauer konzentrierte sich dagegen auf die Codierung für den Mobilfunk.

(C) Sie beide interessierten sich speziell auch für die Fragestellung, wie eine Größe X auf Y wirkt und gleichzeitig Y auf X . Vergleicht man Markos Grafik zur Bidirektionalen Informationstheorie mit dem von Hagenauer genutzten Modell der Turbo-Decodierung, so erkennt man schnell etliche Gemeinsamkeiten.

(D) Den beiden ist auch gemein, dass sie die aus technischen Systemen gewonnenen Erkenntnisse auf biologische Fragestellungen angewendet haben. Bei Marko war dies durch die von ihm in jungen Jahren betriebene Kybernetik schon sehr früh der Fall. Hagenauer wendete sich erst zum Ende seiner wissenschaftlichen Laufbahn der Genetik zu. Hier erwies sich die Zusammenarbeit von drei LNT-Doktoranden mit zwei Genbiologen als besonders fruchtbar.

Hagenauer beendete seine Rede mit den Worten: „Wir freuen uns, dass Sie, lieber Herr Marko, einige Ihrer Nachfolger erlebt, und beobachten könnten, dass Ihr Lebenswerk fortgesetzt wird“.

Gerhard Kramer referierte im letzten Vortrag über den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik 2015. Die Einzelheiten hierüber findet man in den Kapiteln 5 bis 7 dieser Broschüre. Anschließend würdigte er die Lebensleistung von Professor Hans Marko bei der Anwendung der Systemtheorie in technischen und biologischen Systemen sowie seine interdisziplinä-

ren Arbeiten in der Kybernetik. Wir verweisen hier auf die Biografie im Kastenbeitrag auf S. 99.

Genauer ging Kramer auf Markos Weiterentwicklung der Shannon-schen Informationstheorie zur bidirektionalen Kommunikationstheorie ein. Während Claude E. Shannon von der gemeinsamen (mutual) Transinformation mit der Eigenschaft $I(A; B) = I(B; A)$ ausgeht, definierte Hans Marko etwas später die gerichtete Information, wobei sich $I(A \rightarrow B)$ und $I(B \rightarrow A)$ im Allgemeinen unterscheiden.

Sein Aufsatz *Bidirectional Communication Theory* von 1973 hat in den letzten Jahren eine Renaissance erlebt. Das von James Massey (leider 2013 verstorben) und seinem damaligen Doktoranden Gerhard Kramer in den 1990er Jahren beschriebene mathematische Netzwerkmodell bestätigte Markos Theorie. Diese frühe Arbeit spielt auch bei manchen der jetzigen Forschungsarbeiten am LNT noch eine Rolle.

Seit 2011 wurde dieses Paper von 1973 über 400 Mal von *IEEE Xplore* heruntergeladen. Kramer beendete seine Laudatio mit den Worten: „So geht Grundlagenforschung!“

Das anschließende Buffet bot den zahlreichen und hochrangigen Gästen die Möglichkeit, von vergangenen glorreichen Zeiten zu schwärmen. Namentlich erwähnt werden sollen seine ehemaligen Fachkollegen K. Antreich, G. Schmidt und E. Schrüfer, der erste Habilitand E. Neuburger (1968) und die Doktoranden der 1960er Jahre, H. Häberle, M. Mall und W. Mayer.

Lieber Herr Marko: Der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik und alle Ihre früheren Mitarbeiter wünschen Ihnen noch lange die geistige Frische wie an Ihrem 90. Geburtstag.

9.4 17th Joint Conference on Communication and Coding Stilfs/Italien, 11. bis 13. März 2015

Elisabeth Oberleithner, Roy Timo und Günter Söder

Anfang März 2015 fand im italienischen Stilfs in der Südtiroler Region Vinschgau die *17th Joint Conference on Communications and Coding* statt. Zu der dreitägigen Konferenz mit Seminarcharakter kamen mehr als 30 Teilnehmer, nämlich:

- Prof. Holger Boche vom *Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik* (LTI) der TUM und neun seiner Mitarbeiter,
- Prof. Gerhard Kramer vom *Lehrstuhl für Nachrichtentechnik* (LNT) zusammen mit 14 Doktoranden und Postdoktoranden,
- drei Doktoranden vom *Fachgebiet Leitungsgebundene Übertragungstechnik* (LÜT),
- Dr. Gianluigi Liva und Dr. Balazs Matuz vom *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR).

Die von Dr. Roy Timo (LNT) und Elisabeth Oberleithner (LÜT) orga-

nisierte Konferenz wurde vereinbart, da sich die Forschungsgebiete der vier Institutionen teilweise überlappen, jeder jedoch eine etwas andere Sichtweise der Dinge und Herangehensweise mitbringt.

Die Forschungsarbeiten wurden in einem kurzen Referat oder auf einem Poster vorgestellt. Nach jedem Vortrag gab es eine 10-minütige Diskussion, die von allen Teilnehmern rege genutzt wurde. Die unterschiedlichen Wissenshintergründe der Seminarteilnehmer haben zu einer großen Bereicherung der Diskussionen beigetragen.

Wie aus dem Programm ersichtlich ist, wurden die vier Vortragssitzungen am Mittwoch und Donnerstag weitgehend von LTI und DLR gestaltet. Dazu gab es zwei Vorträge vom LNT: Dr. Geiger und unser Gastwissenschaftler Metodi Yankov, *Technical University of Denmark*. Eine inhaltliche Zusammenfassung aller Vorträge finden Sie im englischen Teil dieses Beitrags.

Zwölf Doktoranden und zwei Postdoktoranden von LNT und LÜT

stellten ihre Forschungsergebnisse in den beiden Postersitzungen vor. Die dabei behandelten Themen werden in diesem Heft in den Kapiteln 5 und 6 ausführlich beschrieben.

Während der Kaffeepausen und am Abend fanden weitere individuelle Gespräche statt. Durch gemeinsame Aktivitäten am Abend wurden die persönlichen Kontakte weiter vertieft. An den Vormittagen hatten die Teilnehmer freies Programm. Sie nutzten die Zeit zum Skifahren und Skilanglauf oder zu ausgedehnten Spaziergängen vor dem eindrucksvollen Ortlermassiv.

Noch kurz ein Wort zur Historie dieser Veranstaltungsreihe. Sie wurde von Prof. Joachim Hagenauer Mitte der 1980er Jahre als Leiter des Instituts für Nachrichtentechnik am (heutigen) Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen (DLR) ins Leben gerufen. In seiner Zeit als LNT-Chef von 1993 bis 2006 folgten die Konferenzen mit den laufenden Nummern 7 bis 15, meist eine Woche in einem attraktiven Wintersportort gemeinsam mit Partnern



Vorne von links: P. Schulte, G. Böcherer, G. Liva (DLR), S. Saeedi, Y. Wu, A. Mansoor (LTI); 2. Reihe: V. Pohl (LTI), E. Oberleithner (LÜT), H. Bartz, R. Timo, R. Amjad, B. Matuz (DLR), B. Geiger, M. Jäger, O. Günlü, M. Cai (LTI), A. Grigorescu (LTI), O. İşcan, V. Sidorenko, G. Kramer, M. Stinner; hinten: H. Boche (LTI), N. Tavangaran (LTI), A. Nedelcu, M. Yankov, L. Palzer, T. Fehenberger (LÜT), S. Dierks, Y. Chen (LÜT)

aus dem (internationalen) Hochschulbereich. 2013 hat Prof. Gerhard Kramer diese Tradition mit der 16. JCCC in Holzgau wieder aufgenommen.

The 17th Joint Conference on Communications and Coding (JCCC), was held in Stilfs/Italy on March 11–13, 2015 with 30 participants:

- Professor Holger Boche from the *Institute of Theoretical Information Technology* (LTI) at TUM and nine of his research assistants,
- Professor Gerhard Kramer and 14 members of his research staff from LNT,
- three Ph.D. students from the *Wireless and Optical Communications Group* (LÜT),

Talks and Posters at JCCC 2015

Session I: Wednesday, 14:00 – 15:00

- Ahmed Mansour (LTI): Secrecy Measures in Wiretap Broadcast Channel: Joint Vs Individual
- Minglai Cai (LTI): Classical-quantum Arbitrarily Varying Wiretap Channel-capacity Formula with Ahlswede Dichotomy Resources
- Nima Tavangaran (LTI): Compound Source Models and Security

Session II: Wednesday, 17:00 – 18:00

- Andrea Grigorescu (LTI): Capacity Region Continuity of the Compound Broadcast Channel with Confidential Messages
- Volker Pohl (LTI): On the Strong Divergence of Hilbert Transform Approximations from Sampled Data
- Philipp Walk (LTI): Deconvolution: State of the Art

Session III: Thursday, 13:40 – 15:00

- Harutiuin Aiudinian (LTI): On some Coding Problems for Operator Channels
- Ezra Tampubolon (LTI): Weighted Frames of Exponentials with Application to the Sampling Problem of Multi-Banded Multi-Dimensional Signals
- Holger Boche (LTI): Superactivation for Wiretap Channels with Active Wiretapper and Jammer
- Metodi Yankov (LNT/DTU): Approximating the Constellation Constrained Capacity of the MIMO Channel with Discrete Input

Session IV: Thursday, 17:00 – 18:00

- Bernhard Geiger (LNT): Two Little (?) Problems
- Gianluigi Liva (DLR): The Distance Spectrum of Fixed-Rate Raptor Codes
- Balazs Matuz (DLR): The PPM Poisson Channel: Finite-Length Bounds and Code Design

Poster Session A: Wednesday, 15:20 – 16:40

- Rana Ali Amjad (LNT): Channel Resolvability Codes based on Concatenation and Sparse Linear Encoding

- Georg Böcherer (LNT): Probabilistic Amplitude Shaping: Rate-Adaptive LDPC Coded Modulation
- Shirin Bidokhti (LNT): Capacity Regions of Broadcast Packet Erasure Channels with Feedback and Memory
- Joschi Brauchle (LNT): An Introduction to Asymptotic Multi-Trial GMD Decoding with Arbitrary Error/Erasures Tradeoff
- Onurcan İşcan (LNT): Quantize-Forward Relaying with Two-Step Decoding for the Two-Way Relay Channel
- Andrei Nedelcu (LNT): Matching for Dense Antenna Arrays
- Elisabeth Oberleithner (LÜT): Impulsive Noise Mitigation in In-Vehicle PLC Systems
- Patrick Schulte (LNT): Constant Composition Distribution Matching

Poster Session B: Thursday, 15:20 – 16:40

- Hannes Bartz & Vladimir Sidorenko (LNT): List and Probabilistic Unique Decoding of Folded Subspace Codes
- Stefan Dierks (LNT): MIMO and Massive MIMO - Analysis for a Local Area Scenario
- Tobias Fehenberger (LÜT): LDPC Coded Modulation with Probabilistic Shaping for Optical Fiber Systems
- Onur Günlü (LNT): Transform Coding for Physical Unclonable Functions
- Markus Jäger (LNT): Massive MIMO Transmitter Design
- Giesbert Janssen (LTI): Generating Hard-Currency Resources under Uncertainties: Entanglement Distillation for Compound & AV Quantum Sources
- Lars Palzer (LNT): Information Theory for Quantized Compressed Sensing
- Markus Stinner (LNT): Finite-Length Scaling of Convolutional MET LDPC
- Youlong Wu (LNT): Coding Schemes for Discrete Memoryless Broadcast Channels with Rate-Limited Feedback

PDFs of the posters can be found under the URL <http://www.lnt.ei.tum.de/en/research/publications/2015/>

9

Veranstaltungen

- two scientists from the *German Aerospace Center* (DLR), Oberpfaffenhofen.

The 3-day workshop included four oral presentation sessions as well as two poster sessions (see program on p. 103). The topics were diverse, including

- Quantum Information Theory
- Quantum State-merging
- Information-theoretical Security
- Signal and Coding Theory
- Compressive Sampling.

The talks in Sessions I – IV were given by researchers from LTI and DLR, and by two members from LNT. Each participant presented his or her work in a 15 minute talk followed by a 5 minute discussion. The other Dr. Ing. candidates and postdocs from LNT and LÜT presented their research projects in two poster sessions. You can find detailed descriptions of the topics in Chapters 5 and 6 of this report.

The diverse knowledge of the audience led to lively exchanges and discussion after the sessions ended. The evening program offered opportunities for individual technical and social conversations during joint dinners. The participants used their “spare” time in the mornings for pleasurable activities such as alpine skiing, cross country skiing or for an extensive walk in the wonderful mountain world of the Dolomites.

The conference was a great success, just as its 16 previous versions. Many thanks on behalf of the participants to Elisabeth Oberleithner and Dr. Roy Timo for the excellent organization of the conference.

Besides the technical aspects, the workshop offered a great opportunity to meet colleagues from nearby research institutes in an informal atmosphere.



Auditorium bei einer Plenarsitzung



Diskussionen bei einer Poster-Session



Auf nach Suldental: Stefan Dierks, Hannes Bartz, Elisabeth Oberleithner und Markus Stinner

9.5 Munich Workshop on Coding and Modulation (MCM 2015), LNT/TUM, 30. und 31. Juli 2015

Georg Böcherer, Gerhard Kramer und Gianluigi Liva

Im Juli 2015 fand am LNT ein Workshop zu den Themen Codierung und Modulation statt, zu dem mehr als 70 Wissenschaftler von Universitäten und aus der Industrie kamen. Es gab 19 Vorträge und etliche Poster.

Our Institute and the Institute of Communications and Navigation of the German Aerospace Center (DLR) organized the *Munich Workshop on Coding and Modulation* (MCM 2015) at the end of July 2015. The technical program comprised 19 talks by global leaders on the topics spatial coupling, polar and lattice codes, short codes, Reed-Solomon codes, high-order modulation, probabilistic shaping, and codes for MIMO, relaying, and synchronization. Several doctoral students and postdocs from LNT and DLR presented posters.

Over 70 researchers from academia and industry attended the event. The social program on Thursday included a Bavarian dinner at the Spatenhaus, which is a traditional restaurant facing the Bavarian State Opera. On Friday after the workshop there was a guided tour of the Lenbachhaus that has a large collection of paintings from the Munich artist group "Der Blaue Reiter". The program ended with a relaxed get-together at the Park Café beer garden in the old botanic garden close to the main train station.

Funding for the workshop was provided by LNT, DLR, and the Alexander von Humboldt Foundation.

Talks at MCM 2015:

- **Giuseppe Caire**, TU Berlin:
Applications and (some) New Results on Compute and Forward
- **Rüdiger Urbanke**, EPFL:
Spatial Coupling as a Proof Technique
- **Rick Wesel**, University of California, Los Angeles:
Incremental Redundancy and Feedback at Finite Blocklengths
- **Michael Lentmaier**, Lund University:
Threshold Saturation for Spatially Coupled Turbo-like Codes over the Binary Erasure Channel
- **Rami Zamir**, Tel Aviv Univ.:
Multilevel Coded Modulation and Lattice Construction
- **Jean-Claude Belfiore**, Telecom Paris Tech:
Lattice Codes: A theta Series Perspective
- **Gottfried Ungerboeck**:
Improved Burst-error Correction by Joint Decoding of Interleaved RS Codes
- **Guido Montorsi**, Politecnico di Torino:
Analog Digital Belief Propagation and some of its Applications
- **A. Guillen i Fabregas**, Univ. Pompeu Fabra:
Mismatched Decoding and Bit-Interleaved Coded Modulation
- **Georg Böcherer**, LNT/TUM:
Probabilistic Amplitude Shaping for Higher-order Modulation
- **Robert Fischer**, Univ. Ulm:
Combination/Interaction of Coded Modulation and Precoding in MIMO Systems
- **Stephan ten Brink & S. Cammerer**, Univ. Stuttgart:
Two-channel Model for Wavelike Convergence of Tail-biting SC-LDPC Codes
- **Marco Baldi**, Univ. Politecnica delle Marche:
Efficient most Reliable Basis Decoding of Short Block Codes
- **Johannes Huber**, FAU Erlangen-Nürnberg:
Polar Coded Modulation - a Tutorial
- **Erdal Arikan**, Bilkent Univ.:
Combined Coding and Modulation with Polar Codes
- **Enrico Paolini**, Univ. of Bologna:
On Optimum Decoding of Certain Product Codes
- **Mark Flanagan**, University College Dublin:
Low-density Lattice Coded Relaying with Joint Iterative Decoding
- **Stephan Pfletschinger**, DLR:
Code-aided Frame Synchronization
- **Jossy Sayir**, Univ. Cambridge:
Non-linear Constraints for Frame Synchronization



Group of participants of MCM 2015



9.6 Munich Workshop on Massive MIMO (MMM 2015), LNT/TUM, 7. Oktober 2015

Stefan Dierks, Gerhard Kramer, Markus Staudacher und Roy Timo



Prof. Erik Larsson



Dr. Thomas Marzetta

Im Oktober 2015 richtete der Lehrstuhl für Nachrichtentechnik einen halbtägigen Workshop zum Thema *Massive MIMO* aus, wobei MIMO für *Multiple-Input Multiple-Output* steht. Nach der Begrüßung gab es zwei einstündige Vorträge:

- Dr. Thomas Marzetta von den Alcatel-Lucent Bell Labs in Murray Hill sprach zum Thema „Massive MIMO and Beyond“.
- Anschließend referierte Prof. Erik Larsson von der Linköping University über „Massive MIMO: Research Highlights“.

Danach gab es eine Echzeitvorführung zum Thema „5G“ durch Dr. Berthold Panzner von Nokia und Posterpräsentationen von Muhammad Bilal Amin (Nokia) sowie den LNT-Doktoranden Stefan Dierks und Andrei Nedelcu.

Nach jedem Programmpunkt gab es rege Diskussionen unter den mehr als 50 Teilnehmern. Neben Doktoranden und Postdocs des LNT nahmen am Workshop auch die Professoren Giuseppe Caire (TU Berlin), Stephan Brink (Universität Stuttgart), Holger Boche (LTI/TUM) und Wolfgang Utschick (MSV/TUM) teil, jeweils mit etlichen Doktoranden. Aus der Industrie kamen Delegationen von Huawei Technologies, Intel

Deutschland, Nokia Solutions and Networks, National Instruments sowie Freescale.

Der Workshop wurde von Stefan Dierks, Gerhard Kramer, Markus Staudacher sowie Roy Timo (alle LNT) organisiert und durch die Alexander von Humboldt-Stiftung (AvH) finanziell unterstützt.

The LNT members Stefan Dierks, Gerhard Kramer, Markus Staudacher and Roy Timo organized the *Munich Workshop on Massive MIMO* in October 2015. The technical program consisted of two one-hour talks by Massive MIMO pioneers:

- Thomas Marzetta, Alcatel-Lucent Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA:
Massive MIMO and Beyond,
- Erik Larsson, Linköping University, Sweden:
Massive MIMO: Research Highlights.

The program included a 5G real-time demo by B. Panzner (Nokia) and a poster session with presentations by

- Muhammad Bilal Amin, Nokia: Design Options for Massive MIMO in 5G Networks - Virtual Beamforming and Artificial Mutual Coupling,
- Stefan Dierks, LNT/TUM: MIMO and Massive MIMO - Analysis for a Local Area Scenario
- Andrei Nedelcu, LNT/TUM: Compact MIMO Systems.

Over 50 researchers from academia (University of Stuttgart, TU Berlin, TUM) and industry (Huawei Technologies Germany, Intel Germany, Nokia Solutions and Networks, National Instruments, Freescale) attended the event. The social program included a lunch with the speakers at Il Mulino, a local Italian restaurant.

Funding for the workshop was provided by LNT and the Alexander von Humboldt Foundation.



Dr. Berthold Panzner during his 5G demonstration



Dr. Marzetta and Stefan Dierks

9.7 Munich Workshop on Information Theory of Optical Fiber (MIO 2015), LNT/TUM, 8. und 9. Dez. 2015

Tobias Fehenberger, Luca Barletta, Mansoor Yousefi und Gerhard Kramer

Nach dem erfolgreichen Workshop MIO 2014 fand im Dezember 2015 eine Neuauflage statt. Mittlerweile auf über 80 internationale Teilnehmer angewachsen, bot MIO 2015 der Forschungsgemeinde an der Schnittstelle zwischen Informationstheorie und optischer Übertragungstechnik erneut ein Forum zum Austausch von Ideen und zur Diskussion offener Probleme. Im Kastenbeitrag auf der nächsten Seite finden Sie eine Zusammenstellung der dreizehn Vorträge und zwölf Poster.

After a successful MIO workshop in 2014 (see Chapter 9.2), our institute held another MIO edition in the December 2015. This workshop was co-sponsored by the Alexander von Humboldt Foundation and by TUM-IAS under a Rudolf Diesel Fellowship awarded to René-Jean Essiambre from Bell Labs US.

The general concept of MIO 2015 was very similar to 2014. Experts from the field of information theory and optical fiber communications were invited to give talks about open

research questions and problems to be solved if fiber systems are to continue enabling the growth of traffic over the Internet.

In comparison to 2014, MIO 2015 had more than 80 participants, again from all over the world. It is worth noting that many representatives from industry attended our workshop, showing that the interface of information theory and fiber optics is not at all a field of purely academic interest. The main workshop topics were the same as in 2014. You can find the list of speakers and the titles of their talks in the box on the next page.

An unexpected deviation from the usual workshop procedure took place right before the last invited talk on day one. Gerhard Kramer arranged for a little surprise for the attendees, keeping even his co-organizers in the dark.

A real-life Santa Claus, luckily without a Krampus, attended MIO as a special invited guest. Reading from his Golden Book, he reminded some carefully selected participants to behave better in the coming year, much



Participants at MIO 2015 on the left and the right side of Santa Claus



to the amusement of those who were not in Santa's book just yet. All MIO attendees received a small piece of chocolate and joined in to sing two verses of the famous German Christmas song "Lasst uns Froh und Munter sein" that were specifically composed for MIO 2015:

(1) Fiber, light, non-linearity,
solitons, space, spectral efficiency.

Shannon, Shannon, traleralala,
soon we've cracked capacity,
soon we've cracked capacity!

(2) Reflection, refraction, cool neat
stuff. Single-mode, multi-mode,
we can't get enough.

Code it, shape it, traleralala,
soon we've cracked capacity,
soon we've cracked capacity!

After this exciting break, a few more talks followed, and a successful first MIO day was almost over. The invited speakers and plenty of workshop attendees went to the Paulaner brewery at Nockherberg for dinner, where the first workshop day ended with a variety of Bavarian specialties and beers.

On the second day of the workshop, more invited talks were given and the topics were discussed with vigor. In order to further support the exchange of ideas in the limited time frame of a two-day workshop, a poster session took place right before lunch. This was an excellent opportunity for younger researchers to present their results and discuss them with some of the experts of their respective fields.

After the workshop talks were over, a guided tour in the art museum "Alte Pinakothek" right next to TUM for invited participants and speakers was organized. The topic was: "Art has always been contemporary - the Old Masters seen in a new light". The tour guide, Marion

von Schabrowsky, explained how social, political and economic conditions influenced the work of artists. For example, many paintings were ordered as reactions to crises, and Renaissance artists used their paintings as a form of social protest.

Finally, the organizing committee (Luca Barletta, Gerhard Kramer, Tobias Fehenberger and Mansoor

Yousefi) would like to express their gratitude to the attendees who enriched the workshop by their questions and in discussions, to the speakers who presented excellent talks and, to the colleagues from LNT who helped with the organization. The extremely positive feedback that we received from the participants is also meant for you.

Talks at MIO 2015

- Prof. **René-Jean Essiambre**, Alcatel Lucent, Bell Labs, USA & IAS/TUM:
Nonlinear Interactions in Space-Division Multiplexed Fibers
- Dr. **Cristian Antonelli**, University of L'Aquila, Italy:
Nonlinear Interference in Space-Division Multiplexed Transmissions
- Dr. **Mansoor I. Yousefi**, LNT/TUM:
Outline of a Research Program to Address the Capacity Bottleneck Problem in Optical Fiber
- Dr. **Sander Wahls**, TU Delft, The Netherlands:
Fast Generation of Multi-Solitons using the Darboux Transform
- Dr. **Henning Bülow**, Alcatel Lucent, Bell Labs:
Theory Moves into Lab: Modulation of Discrete Spectrum
- Prof. **Yves Jaouen**, Telecom ParisTech, France:
Emerging Space-Time Coding Techniques for Optical Fiber Transmission Systems
- Prof. **Erik Agrell**, Chalmers University of Technology, Sweden:
Recent Lower Bounds on the Capacity of Fiber-optic Links
- Dr. **Marco Secondini**, Scuola Superiore Sant'Anna, Italy:
Achievable Information Rates in Optical Fiber Communications
- Prof. **Mark Shtaif**, Tel Aviv University, Israel:
Open Questions on Nonlinear Interference Noise and the Prospects of its Mitigation
- Prof. **Magnus Karlsson**, Chalmers University of Technology, Sweden:
Nonlinear Mitigation by Conjugation
- Dr. **Roland Ryf**, Alcatel Lucent, Bell Labs, USA:
Transmission in Space-Division Multiplexed Systems
- Dipl.-Ing. **Tobias Fehenberger**, LNT/TUM:
Probabilistic Shaping of High-order QAM for Optical Fiber Systems
- Prof. **Gerhard Kramer**, LNT/TUM:
A Study of Capacity and Spectral Efficiency of Fiber Channels

Posters at MIO 2015

- Dr. **Tommaso Foggi**, University of Parma, Italy:
Achievable Information Rate in Optical Communications: From Time-frequency Packing to Flexi-grid Networks
- M.Sc. **Alexander Geisler**, Helmut Schmidt Universität Hamburg:
Implementation of Eigenvalue Multiplex Transmission with a Lossy 75 km Fiber Link
- M.Sc. **Kamran Keykhosravi**, Chalmers University of Technology, Sweden:
A Strictly Increasing Lower Bound on the Capacity of the Fiber Optical Channel
- M.Sc. **Ginni Khanna**, LNT/TUM:
A Robust Adaptive Digital Pre-distortion Method for Optical Communication Transmitters
- M.Sc. **Gabriele Liga**, University College London, UK:
Optimum Detection in Presence of Nonlinear Distortions with Memory
- M.Sc. **Georg Rademacher**, TU Berlin:
Nonlinear Gaussian Noise Model for Multi-mode Fibers with Space-division Multiplexing
- M.Sc. **Nikita Shevchenko**, University College London, UK:
Maximizing Capacity of a Nonlinear Optical Fiber Channel (using Solitons and Nonlinear Fourier Transforms)
- **Xianhe Yangzhang**, LNT/TUM:
Nonlinear Fourier Transform at Defocusing Regime
- M.Sc. **Metodi Yankov**, LNT/TUM & Technical University of Denmark:
Iterative Decoding and Phase Noise Tracking for High-order QAM Constellations
- M.Sc. **Apostolos Karadimitrakis**, University of Athens, Greece:
Modeling the Fiber Optical MIMO Channel
- Prof. **Aris Moustakas**, University of Athens, Greece:
NLSE Soliton Spectral Efficiency for Gaussian Input
- M.Sc. **Alexander Span** & Prof. **Stephan ten Brink**, Universität Stuttgart:
Optical Communications using the Nonlinear Fourier Transform

The posters and photos from the workshop are available at the web address <http://www.lnt.ei.tum.de/en/events/munich-workshop-on-information-theory-of-optical-fiber-2015>

9.8 TUM-COM Workshop, Stilfs/Italien, 16. bis 18. März 2016

Stefan Dierks

Das Kompetenzzentrum Kommunikationstechnik (TUM-COM) bündelt die Forschungsaktivitäten innerhalb der Fakultät EI zum Thema Zukünftige Mobilfunktechnologie (5G). Wir berichten über einen von TUM-COM organisierten Workshop für alle Doktoranden der beteiligten Lehrstühle.

Expertise on the *Fifth Generation of Mobile Technology* (5G) is available in the research groups of the *TUM Center of Competence on Communications* (TUM-COM). To foster research cooperation and knowledge transfer within TUM-COM, Stefan Dierks (LNT) and Simon Adrian (HFT) organized a 5G workshop that took place at Hotel Traube in Stilfs, South Tyrol, Italy on March 16-18, 2016. The workshop was a great success. All participants enjoyed discussing the topics of the tutorial talks and the research problems presented as posters.

The workshop was open to all members and doctoral candidates of TUM-COM. The event was sponsored by the *Faculty Graduate Center EI*. The participants included 14 doctoral students from the Chair of Communications Engineering

(LNT), the Chair of Communication Networks (LKN), the Chair of Circuit Theory and Signal Processing (NWS), the Professorship of Signal Processing Methods (MSV) and the Chair of High Frequency Engineering (HFT).

The growth in connectivity and density/volume of traffic continues. It is believed that communications beyond 2020 will involve a combination of existing and evolving systems, like LTE-Advanced and WiFi, coupled with new, revolutionary technologies. This is necessary to meet new requirements and market demands, such as 10,000 times more traffic and a virtually zero latency at an affordable cost. 5G will be the set of technical components and systems needed to handle these requirements and overcome the limits of current systems. Three key enablers are

- spectrum increase,
- denser networks, and
- raising the performance of networks.

More spectrum is needed to meet the increased capacity and coverage demand. Many base stations of different sizes and radio technologies are integrated flexibly in a heterogeneous network (HetNet). New ac-



Teilnehmer des 5G Workshops; von links: H. Jedda (NWS), Prof. Sigl (SEC), S. Zoppi (LKN), K. Roth (NWS/Intel), S. Adrian (HFT), M. Iwanow (MSV/Huawei), F. Steiner (MSV), A. Nedelcu (LNT), M. Gürsu (LKN), M. Vilgelm (LKN), S. Dierks (LNT), M. Staudacher (LNT), D. Neumann (MSV), A. Ahmadian Tehrani (LNT/Nokia), P. Schulte (LNT), Dr. Böcherer (LNT), Prof. Nossek (NWS).



cess technologies must be developed or existing ones must be improved to lower latency and increase throughput. Two example strategies are (massive) MIMO and cooperation between base stations.

Research on 5G requires considering different aspects jointly, for example by using a cross-layer software-defined network architecture. 5G will operate in regimes which are not as familiar as the regimes of current communication systems. Here an example is the regime of millimeter waves, which are much higher frequencies than existing mobile communication generations that require new channel models, antenna designs and communication strategies.

The 5G workshop enabled an exchange of knowledge and let Ph.D. students network with experts on various aspects of 5G. This fosters research cooperation and knowledge transfer within TUM-COM. The structure of the workshop supported this idea: Every participating Ph.D. student presented his or her research as a poster. During the poster talk it was possible for the participants to familiarize themselves with new topics and to discuss questions, as well as to propose new ideas. Tutorial talks were given by

- Prof. Josef Nossek, NWS: *Physically Consistent Modelling of Communication Systems*,
- Prof. Georg Sigl, Chair of Security in Information Technology: *Security in Future 5G Systems*,
- Dr. Georg Böcherer, LNT: *Polar Codes: A Candidate for 5G?*

Networking took place during the meals and in the evenings as well as during a special session, where networking was combined with skiing or other activities.

Die deutsche Sektion der *IEEE Information Theory Society* organisierte zusammen mit Prof. Han Vinck von der Universität Duisburg-Essen und dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der TU München eine zweitägige Gedenkfeier zu Ehren von Claude E. Shannon, dem Begründer der Informationstheorie. Shannon hätte am 30. April 2016 seinen 100. Geburtstag feiern können. Die Veranstaltung fand im Heinz Nixdorf Museum in Paderborn statt.

Das Programm bestand aus 15 Vorträgen über das Leben und die Arbeiten von Claude E. Shannon. Daneben wurde ein Museumsbesuch und ein umfangreiches Rahmenprogramm angeboten, in dessen Mittelpunkt natürlich ebenfalls der Jubilar Claude E. Shannon stand.

Mehr als 70 Personen nahmen an dieser zweitägigen Veranstaltung teil, darunter mehr als 30 unserer Studenten an der TU München. Shannons Arbeiten nehmen auch heute noch in Lehre und Forschung des LNT einen breiten Raum ein, fast 70 Jahre nach Shannons bahnbrechender Veröffentlichung „A Mathematical Theory of Communication“.

The German Information Theory Society Section Chapter organized together with Professor Han Vinck (University of Duisburg) as well as Professor Gerhard Kramer and Lars Palzer from the Institute for Communications Engineering (LNT), a Claude Elwood Shannon 100th Birthday Celebration at the Heinz Nixdorf Museum in Paderborn, Germany on May 3-4, 2016.

The event consisted of a technical program, a museum tour through the Heinz Nixdorf museum – which is the biggest computer museum in the world – and a social program.

9.9 Claude Elwood Shannon 100th Birthday Celebration, Heinz Nixdorf Museum in Paderborn, 3./ 4. Mai 2016

Gerhard Kramer und Lars Palzer

The technical program included 15 talks on Shannon's life and work.

The speakers on May 3 were

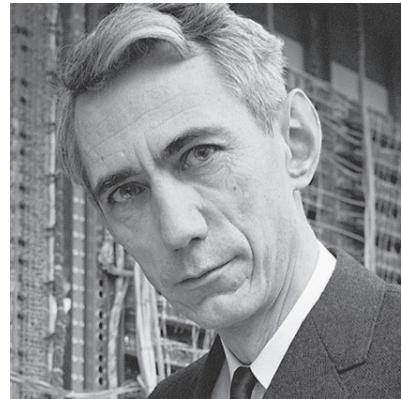
- Frans Willems, TU Eindhoven,
- Ingo Althöfer, Universität Jena,
- Christof Paar, Universität Bochum,
- Jochen Viehoff, HNM Paderborn,
- Vijay Bhargava, UBC Vancouver,
- Kees Immink, Turing Machines Inc., Rotterdam
- Rudolf Mathar, RWTH Aachen,
- Holger Boche, LTI/TUM,
- Stephan ten Brink, Uni Stuttgart.

On May 4, the speakers were

- Giuseppe Caire, TU Berlin,
- Petar Popovski, Aalborg University,
- Giuseppe Durisi, Chalmers University,
- Emre Telatar, EPFL Lausanne,
- Joachim Hagenauer, LNT/TUM,
- Sergio Verdú, Princeton University..

The technical talks addressed multi-user and quantum information theory, genetics, chess, cryptography, and code design. Two of the talks had a more personal flavor: Emre Telatar's talk on Shannon's 1948 paper “A Mathematical Theory of Communications” and Sergio Verdú's presentation on the life of Shannon.

In total, over 70 persons attended the event. This includes more than



Claude Elwood Shannon

30 undergraduate and graduate students from TUM for whom the LNT organized a bus transport from Munich.

The social program on May 3 included a reception and a dinner at the Welcome Hotel as well as a semi-final of the football Champion's League. The museum tour provided insights into the history of computers and featured some of Shannon's many inventions. As a special surprise, all participants received a copy of Shannon's “Useless Machine”, a machine whose sole purpose is to switch itself off.

Funding for the workshop was provided by the LNT. The program and photos are available at the web address <http://www.lnt.ei.tum.de/en/events/claudie-elwood-shannons-100th-birthday-celebration/>.



Six past presidents of the IEEE Information Theory Society celebrating Claude Shannon's work and life in Paderborn. From the left S. Verdú, G. Kramer, G. Caire, J. Hagenauer, H. Vinck and V. Bhargava.

9.10 Bertinoro Workshop on Communications and Coding (BCC 2016), Bertinoro, Italy, 19. und 20. Mai 2016

Gerhard Kramer und Roy Timo

Im Mai 2016 gab es einen zweitägigen Workshop zu den Themen Kommunikation, Fehlerkorrekturverfahren, Mehrbenutzer-Informationstheorie und Compressive Sensing, der von Enrico Paolini vom Department "Guglielmo Marconi" der Universität Bologna sowie Gerhard Kramer und Roy Timo (beide LNT) organisiert wurde. Tagungsort war das *Centro Residenziale Universitario di Bertinoro* in der Provinz Forlì-Cesena, etwa eine Autostunde südöstlich von Bologna gelegen.

Das Foto zeigt eine Teilansicht dieser wunderschönen burgähnlichen Residenz mit mehr als tausendjähriger Geschichte, die seit 1994 als Kongresszentrum genutzt wird.

On the 19th and 20th of May 2016, the Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering "Guglielmo Marconi" at the University of Bologna and the Chair for Communications Engineering (LNT) of the Technical University of Munich (TUM) organized a Bertinoro Workshop on Communications and Coding (BCC) in Bertinoro, Italy. The workshop venue was the beautiful and historic *Centro Residenziale Universitario di Bertinoro*.

The main purpose of the workshop was to bring together resear-

chers from European institutions to explore topics of information theory and coding. The event further provided a test run for an upcoming *IEEE European School of Information Theory* bid, and, by all accounts, it was a great success.

The workshop's technical program included a variety of talks on communications, multi-user information theory, error-control coding and compressive sensing. Participants included

- from the University of Bologna: Marco Chiani, Ahmed Elzanaty, Andrea Giorgetti, Anna Guerra, Enrico Paolini, Gianni Pasolino;
- from TUM: Georg Böcherer, Gerhard Kramer, Roy Timo, Youlong Wu;
- Luca Barletta, Politecnico di Milano;
- Alexandre Graell i Amat, Chalmers University of Technology, Sweden;
- Gianluigi Liva, DLR, German Aerospace Center.

The workshop was organized by E. Paolini, G. Kramer and R. Timo and was funded by the Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering "Guglielmo Marconi" of the University of Bologna and by the Alexander von Humboldt Foundation.



Centro Residenziale Universitario di Bertinoro (Foto: R. Timo)



Talks at BCC 2016

- Prof. **Gerhard Kramer**, LNT: Capacity Bounds for Diamond Networks
- Dr. **Georg Böcherer**, LNT: Experimental Information Theory: Achievable Rates from Measurements
- Dr. **Gianni Pasolini**, Bologna: Secret Information of Wireless Multi-Dimensional Gaussian Channels
- Ahmed Elzanaty, Bologna: Analysis of the Restricted Isometry Property for Compressed Sensing
- Prof. **Luca Barletta**, Milano: The S-Aloha Capacity: Beyond the e^{-1} Myth
- Dr. **Gianluigi Liva**, DLR: Successive Cancellation Decoding of Product Codes
- Prof. **Alexandre Graell i Amat**, Chalmers University: A Deterministic Construction and Density Evolution Analysis for Generalized Product Codes
- Dr. **Youlong Wu**, LNT: Coding Scheme for Multicast Network with/without Feedback
- Prof. **Enrico Paolini**, Bologna: Efficient Evaluation of the Weight Spectral Shape of Nonbinary Protograph LDPC Codes
- Dr. **Roy Timo**, LNT: An Information-theoretic Approach to Caching
- Dr. **Andrea Giorgetti**, Bologna: Model Order Selection Based on Information Theoretic Criteria: Design of the Penalty and Applications to Statistical Signal Processing
- Dr. **Anna Guerra**, Bologna: Single-Anchor Position and Orientation Bounds: Fundamental Limits using Millimeter-Wave Massive Arrays

9.11 Munich Workshop on Causal Inference & Information Theory (MCI 2016), LNT/TUM, 23./ 24. Juli 2016

Gerhard Kramer und Bernhard C. Geiger

Janzing), and information theory (Young-Han Kim, Negar Kiyavash, Haim Permuter).

The talks ranged over diverse approaches to inference of causal structures: including inference in the presence of confounders, or time varying networks and the application of information-theoretic measures such as directed information and Kolmogorov complexity for the inference task. Each day concluded with a discussion session for the researchers.

The Munich weather cooperated: the constant rain made everyone happy to stay inside, enjoy hot coffee, and continue working. The social program included a pizza lunch, and a beer hall, rather than beer garden, event.

The workshop was funded by the LNT and the Alexander von Humboldt Foundation. The organizers were Negar Kiyavash, Gerhard Kramer, Kun Zhang, Bernhard C. Geiger, and Jalal Etesami.

Talks at MCI 2016

- Dr. **Kun Zhang**, University of California, San Diego:
Practical Considerations in Causal Discovery: Confounders, Time-Varying Causal Relations, and Selection Bias
- Dr. **Christopher Quinn**, Purdue University:
Learning and Approximating Causal Influences in Networks
- Prof. **Young-Han Kim**, University of California, San Diego:
How to Learn Probability without Learning
- Prof. **Shohei Shimizu**, Osaka University:
A non-Gaussian Model for Causal Discovery in the Presence of Hidden Common Causes
- Dr. **Haim Permuter**, Ben Gurion University:
Causal Conditioning and Directed Information in Engineering Problems
- Dr. **Michael Eichler**, Maastricht University:
Causal Inference from Multivariate Time Series: Principles and Problems
- Prof. **Thomas Richardson**, University of Washington:
Learning Causal Structure in the Presence of Hidden Variables
- Prof. **Frederick Eberhardt**, California Institute of Technology:
Generalized Constraint-based Causal Discovery and Causal Macro-Variables
- Dr. **Dominik Janzing**, MPI Tübingen:
Algorithmic Independence of Cause and Mechanism as a Common Footing of Thermodynamics and Causal Inference
- Dr. **Elias Bareinboim**, Purdue University:
Causal Inference and the Data-Fusion Problem



Prof. Young-Han Kim



Prof. Shohei Shimizu



Prof. Thomas Richardson



Dr. Elias Bareinboim

9.12 Second LNT & DLR Workshop on Coding LNT/TUM, 26. Juli 2016

Georg Böcherer und Gianluigi Liva

Im Juli 2016 kam es zu einem Gedankenaustausch zwischen den auf ähnlichen Gebieten der Kanalcodierung tätigen Forschungsgruppen am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen und am LNT. Der halbtägige Workshop wurde von Dr. Gianluigi Liva (DLR) und Dr. Georg Böcherer organisiert.

Aus dem am Artikelende angegebenen Programm ist zu ersehen, dass es neben den Beiträgen von DLR und LNT auch fünf Vorträge von renommierten Wissenschaftlern aus Dänemark, Italien, Irland, Serbien und Schweden gab.

Der Workshop war mit 37 Teilnehmern sehr gut besucht. Neben DLR- und LNT-Mitarbeitern kamen Doktoranden von anderen Lehrstühlen unserer Fakultät und auch von unseren Projektpartnern, zum Beispiel vom Huawei-Forschungszentrum in München.

Nach jedem Beitrag gab es ausreichend Zeit für Diskussionen, ebenso in den Kaffeepausen sowie beim gemeinsamen Biergartenbesuch in der Max-Emanuel-Brauerei.

Ebenso wie das erste Treffen im Sommer 2014 war auch dieser zweite Workshop gemeinsam mit dem DLR äußerst informativ für unsere Doktoranden und Postdocs.

On July 26, 2016, the second LNT & DLR Summer Workshop on Coding

took place. The workshop was initiated by the general co-chairs Georg Böcherer and Gianluigi Liva from the *Institute of Communications and Navigation at the German Aerospace Center (DLR)*.

The half-day workshop served as a platform for discussing the design and analysis of modern error correcting codes. Researchers from DLR, LNT, and international visitors from Denmark, Italy, Ireland, Serbia, and Sweden gave talks on their current research. The talks triggered interesting discussions on the presented material and future research directions and challenges.

In total 37 participants attended the workshop, including students and project partners, e.g., from the Huawei Research Center in Munich.

Several coffee breaks and a get-together at the Max-Emanuel beer garden led to an enjoyable atmosphere, which resulted in many interesting conversations.

Talks at LNT & DLR Workshop

- Prof. **Cedomir Stefanovic**, Aalborg University:
Random Access on Graphs: Capture-or Tree Evaluation
- Prof. **Alexandre Graell i Amat**, Chalmers University:
Asymptotic Analysis and Spatial Coupling of Counter Braids
- Prof. **Dejan Vukobratovic**, University of Novi Sad:

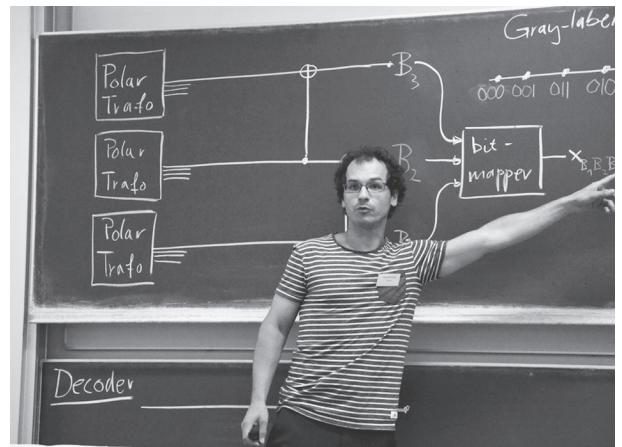


Slotted ALOHA in Small Cell Networks: How to Design Codes on Random Geometric Graphs?

- Prof. **Enrico Paolini**, Bologna:
Efficient Evaluation of the Weight Spectral Shape of Nonbinary Protograph LDPC Codes
- **Hannes Bartz & Dr. Vladimir Sidorenko**, LNT:
Analysis of Decoding Schemes for Punctured Reed-Solomon and Related Codes
- Dr. **Bernhard Geiger**, LNT:
The Fractality of Polar Codes
- **Peihong Yuan**, LNT:
Short Polar Codes
- **Lorenzo Gaudio, Tudor Ninacs & Thomas Jerkovits**, DLR:
The Potential of Tail-biting Convolutional Codes for Ultra-reliable Communications
- Dr. **Georg Böcherer**, LNT:
On Surrogate Channels for Code Design
- Dr. **Mark Flanagan**, University College Dublin:
GLDPC Coded Modulation and its Squared Euclidean Distance Distribution
- **Tobias Prinz**, LNT:
Polar Codes for Probabilistic Amplitude Shaping



Die Organisatoren G. Liva und G. Böcherer, links B. Matuz



Georg Böcherer bei seinem Vortrag

10

Internationale Beziehungen

10.1 Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern

Gerhard Kramer und Günter Söder

During the last two years, four of our research assistants made academic visits to various international universities or research institutes:

- University of Lund, Sweden,
- Stanford University, CA,
- Bell Labs in Murray Hill, NJ,
- University of Southern California (USC) in Los Angeles, CA.

See the reports on the next pages. Several other international visits took place through Gerhard Kramer's active involvement in the IEEE Information Theory Society.

Auch im Berichtszeitraum 10/2014 – 09/2016 gab es einen regen Austausch zwischen den LNT-Mitarbeitern und anderen Forschern weltweit, die sich mit ähnlicher Thematik beschäftigen. Wir beginnen mit den Reisen unseres Lehrstuhlinhabers. Gerhard Kramer besuchte folgende Institutionen zu eingeladenen Vorträgen:

- die University of Toronto und Eurecom in Nizza (Jan. 2015),
- die National Chiao Tung University (NCTU) und die National Sun Yet-sen University (NSYSU), Taiwan (Feb. 2016),
- die University of Maryland, Washington D.C. (März 2016),
- die Yazd University und die Tarbiat Modares University im Iran (Mai 2016),
- die École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL, Juli 2016),
- das Turbo Coding Symposium in Brest, Frankreich (Sept. 2016).

In seiner Eigenschaft als *Distinguished Lecturer* der IEEE Information Theory Society (siehe Kapitel 2.7) war Gerhard zu Vorträgen in San Sebastian, Spanien, in Kharagpour, Indien (beide Juli 2015), in Linköping, Schweden (Juni 2016), sowie in Eindhoven in den Niederlanden (Sept. 2016).

Hier nicht aufgeführt sind Vorträge bei Konferenzen und Workshops (Kapitel 8 und 9), Reisen anlässlich von Promotionen an anderen Hochschulen (Kapitel 5.3), Lehrveranstaltungen bei Forschungseinrichtungen sowie verschiedene europäische und indische *Summer/Winter Schools of Information Theory* (Kapitel 3.6).

Georg Böcherer war 2015/2016 zu Vorträgen an der UCLA in Los Angeles, der NCTU in Taiwan, in Cambridge (UK), Medellin (Kolumbien), Brest (Frankreich), Eindhoven (NL) und Posen (Polen) eingeladen. Antwerpen (Vorentscheid) und New Jersey (Finale) waren Stationen zum Bell Labs Preis (siehe Kapitel 2.7).

Auf den nächsten Seiten berichten drei Doktoranden und Shirin Saeedi über ihre Forschungsaufenthalte:

- Markus Stinner: vier Wochen an der *University of Lund, Sweden*,
- Shirin Saeedi Bidokhti: neun Monate an der *Stanford University*,
- Patrick Schulte: zehn Wochen bei den *Bell Labs* in Crawford Hill,
- Stefan Dierks: vier Wochen an der *University of Southern California*, Los Angeles.

10.1 Forschungsaufenthalte von LNT-Mitarbeitern

10.2 Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler

10.3 Vorträge von Gästen

Im November 2015 verbrachte ich einen Monat an der Universität Lund in Südschweden. Während meines Forschungsaufenthaltes am Institut von Professor Lentmaier konnte ich mich näher mit der Analyse komplexer *Spatially-coupled Low-density Parity-check* (SC-LDPC) Codes auseinandersetzen. Für den Binary Erasure Channel (BEC) erarbeiteten wir gemeinsam ein neues *Scaling Law*, das im Vergleich zum ursprünglichen Ansatz [1, 2] eine bedeutende Reduktion der Komplexität mit sich bringt.

Es war ein sehr schöner und nützlicher Forschungsaufenthalt, bei dem ich viel von Michael lernen konnte. Der Besuch von Prof. Lentmaier am LNT im Sommer 2016 wird die gute Kooperation mit der Universität Lund fortsetzen.

In November 2015, I had the chance to stay with Michael Lentmaier at the Institute of Electrical and Information Technology at the University of Lund in Sweden for one month.

Lund in the province Skåne in the south of Sweden is with 88.000 people the third largest city of the region and the 11th largest of Sweden. With over one third of the inhabitants being students, it is one of the fastest growing cities of Sweden. As a part of the metropolitan region Malmö, it takes only 45 minutes to access the airport of Copenhagen.

While a studium generale existed already in 1425, the University of Lund was founded in 1666 and is the second-oldest university of Sweden. With 47.700 students, it is also the second-largest university.

Michael Lentmaier received his Dipl.-Ing. degree in Electrical Engineering from University of Ulm in 1998 which is the same university

Markus Stinner über seinen Forschungsaufenthalt bei Professor Lentmaier an der Universität Lund

where I did my degree as well. After obtaining his Ph.D. degree in Lund in 1998, he returned to this university as an associate professor after several positions in Europe and the US. He works mainly on signal processing and error correction codes for digital communications. His focus is on the design of convolutional codes, especially convolutional or spatially-coupled low-density parity-check (SC-LDPC) codes.

Since the topic of my Ph.D. is the design and analysis of spatially coupled LDPC codes, the aim of the visit was to get a better insight into the construction and analysis of spatially coupled codes.

During the four weeks I stayed with Michael, I learned more about the difficulties of analyzing complex constructions of SC-LDPC codes in comparison to their uncoupled counterparts. We decided to continue work on finite-length scaling laws for spatially coupled LDPC codes.

First we analyzed the equivalence of different decoders for the BEC. We were able to show that with a rescheduling of peeling decoding (PD), belief propagation (BP) and PD are equivalent in every iteration. While the original approach for scaling laws is based on using the number of resolvable check nodes (CNs) in each iteration to model the stability of the decoding process, we showed that analyzing the variable

nodes (VNs) leads to accurate results as well. Combining the equivalence of the decoders with the analysis of VNs instead of CNs, we can apply density evolution (DE) instead of the full graph evolution of PD which is a remarkable complexity reduction. Based on this equivalence, we could come up with a modified scaling law with drastic complexity reduction compared to the initial scaling laws of Amraoui et al [1, 2].

Apart from research, I also had the opportunity to try the well-known Mårten Gås which is the traditional roasted goose served on St. Martin's day. I would like to thank Michael as well as John Anderson for making my stay so enjoyable.

It was a nice stay with warm and open-minded people. In September 2016, Michael Lentmaier visited Munich and we continued the fruitful collaboration.

Literature:

- [1] Stinner, M.; Barletta, L.; Olmos, P. M.: Finite-length Scaling based on Belief Propagation for Spatially Coupled LDPC Codes. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, 2016
- [2] Amraoui A.; Montanari,A.; Richardson, T. J.; Urbanke, R. L.: Finite-length Scaling for Iteratively Decoded LDPC Ensembles. In: *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 2, pp. 473–498, 2009



View of the Øresund Bridge from Malmö (Foto: Stinner)

Shirin Saeedi über ihren neunmonatigen Forschungsaufenthalt an der Stanford University bei Professor Weissman

Im Herbst 2015 besuchte ich für neun Monate die Stanford University, eine der renommiertesten Forschungseinrichtungen weltweit in unserem Fachgebiet. In dieser Zeit habe ich gemeinsam mit Professor Weissman zwei Komprimierungsprobleme bearbeitet und ich besuchte verschiedene Workshops in Nordamerika sowie die Universitäten in Princeton (Prof. Cuff) und New York (Prof. Erkip).

I had the chance to visit Stanford University from October 2015 to June 2016. This visit was supported by the Swiss National Science Foundation in the framework of an Advanced Postdoc Mobility Fellowship.

Stanford University is a private research university that was founded in 1885. Its main campus is located in the San Francisco Bay Area and is a residential campus on 33 square kilometers accommodating most undergraduate and graduate students. Some of the campus landmarks include the Main Quad, the Hoover Tower (see photos below), the Memorial Church, and the dish.

I was hosted by Professor Tsachy Weissman in the Department of Electrical Engineering. Tsachy Weissman received his B.Sc. (1997) and Ph.D. (2001) degrees from the Technion, and is a professor of Electrical Engineering at Stanford University since 2003. His research focuses on information theory, statistical signal processing, the interplay between them, and their applications in machine learning and genome data compression.

In order to expand my expertise, I started collaborating with Professor Weissman on two data compression problems explained in the following. Data compression techniques such as Lempel-Ziv algorithms are used in practice to reduce the space required for storing data. Unfortunately, many important properties of the data are inaccessible in the compressed domain. To access the data and analyze it, under the existing architectures one has to decompress the dataset and work with the

original high dimensional dataset. This can be costly in applications with random access capabilities, or in machine learning applications that do similarity queries very often.

Motivated by the need for the design of modern compression schemes for big data and the preliminary results in [1], [2], we looked at the following two problems:

- We would like to compress and describe two sequences X^n and Y^n such that from the two descriptions we can reliably answer the following query: Are the two sequences close to each other with respect to a given distortion measure and a prescribed distortion threshold?
- We would like to compress the output X^n of a source to a binary sequence b^m so that every symbol X_i ($i = 1, \dots, n$) could be recovered from the compressed sequence by accessing (on average) at most d bits.

I found the courses that were offered at Stanford University diverse and useful. Besides my research activity, I audited three courses on

- Statistical Theory (taught by Prof. Emmanuel Candès),
- Machine Learning (taught by Prof. John Duchi), and
- Data Science for High Throughput Sequencing (taught by Prof. David Tse)

to expand my knowledge about the emerging field of data sciences, and I audited a course on preparing for faculty careers.

During my 9-month stay at Stanford, I also went for 1-day visits to Princeton University (hosted by Prof. Paul Cuff) and New York University (hosted by Prof. Elza Erkip) where I gave talks about my research on the capacity of diamond networks. I also participated in the

- DIMACS workshop on network coding at Rutgers University (December 2015),
- the Algorithmic Challenges in Genomics Boot Camp at the Simons Institute, Berkeley (January 2016),



- the Information Theory and Applications workshop (ITA) in San Diego (February 2016), and
- the North American School of Information Theory at Duke University (June 2016).

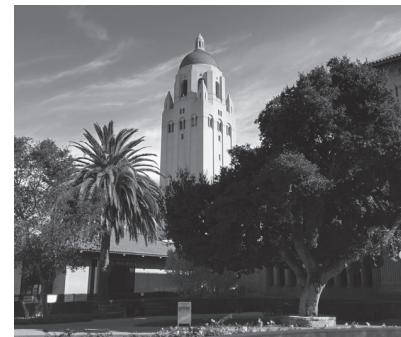
Apart from research, I had the opportunity to go on a few hikes that were organized by SURPAS (*Stanford University Postdoctoral Association*) including a hike at Pinnacles National Park.

Literature:

- [1] Mazumdar, A.; Chandar, V.; Wornell, G. W.: Local Recovery in Data Compression for General Sources. In: *Proc. Int. Symp. Inf. Theory*, June 2015
- [2] Ingber, A.; Weissman, T.: Compression for Similarity Identification: Fundamental Limits. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory*, July 2014



Main Quad



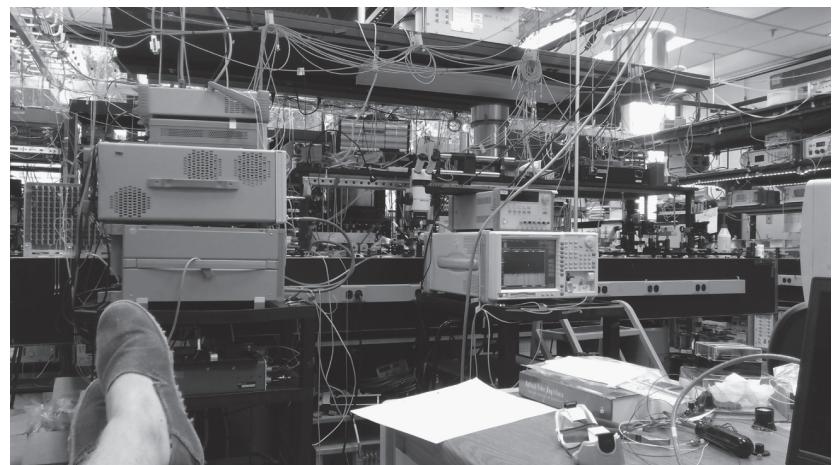
Hoover Tower

Patrick Schulte berichtet über seinen zehnwöchigen Aufenthalt bei den Bell Labs

Von Mitte Juli bis Ende September 2016 konnte ich einen Forschungsaufenthalt bei den Bell Labs in Crawford Hill, NJ, verbringen und dabei viele fachliche und persönliche Erfahrungen sammeln.

Bell Labs, home of various Nobel Prize winners, opened their doors to me for ten weeks. I did a research internship with René-Jean Essiambre on the capacity of an optical fiber channel model. Some people believe that the capacity of optical fiber channels should increase as launch power increases. However, experiments and simulations show a different behaviour. Hence we tried to find an analytic expression for the capacity based on the stochastic dispersion-free nonlinear Schrödinger equation and find out if there is a global maximum.

It turned out that one of the first barriers I had to face was the barrier of language, or more precisely of vocabulary of the different scientific fields. When I talked to someone in the lab about capacity I had to clarify that I was talking about “the maximum mutual information between the sender and receiver, opti-



My office for the first weeks in the optical lab

mized over all [...]” and not just any achievable rate. Such problems also occurred when talking about experiments when I meant simulations, or my interchangeable use of spectral efficiency and capacity. However René was a great help in resolving these issues.

For the first weeks my desk was located in a real optics lab so that I was forced to talk to my hosts in order to find out when I had to protect my eyes from high power lasers that could possibly blind me.

There were many social events where students and staff members could meet and talk outside work. For instance I was invited to three BBQs. The first one was combined with a sailing event where I steered a catamaran for the first time in my life. The second BBQ was at a col-

league’s place where I finally had to acknowledge that Americans know how to grill meat. While my standard German BBQ experience lasts for at most 4 hours, I spent the whole afternoon and evening at this place eating all kinds of meat prepared in various ways. People came and left at all times so this was a great chance to make new friends. The third time was called “Picknick”, and we listened to music from PC speakers that were connected to the horn antenna. The antenna was directed towards some benches approximately 50 meters away where we ate.

New Jersey is called the garden state and apart from those parties I spent my free time on weekends either visiting nearby cities (Princeton, New York or Philadelphia) or riding the bike in nearby state parks. Those parks are well maintained and beautiful – something that I will definitely miss back in Germany.

One thing I really missed during my stay in Crawford Hill was good bread. The “buns” that you use for hamburgers and normal bread are mellow, very sweet and, according to my landlord, they never rot. After expressing my feelings about the local bread to an Austrian colleague, he brought me a loaf of bread his wife had made herself.

Apart from the professional expertise I really enjoyed the kindness and collegiality that I experienced at Bell Labs. It is an amazing place to work.



At the famous horn antenna that is sometimes used as a giant speaker

Stefan Dierks über seinen Aufenthalt an der University of Southern California in Los Angeles

In August 2016 I visited the Wireless Devices and Systems Group (WiDeS) of Prof. Molisch for four weeks. WiDeS is part of the famous Viterbi School of Engineering at the University of Southern California.

The people of WiDeS research the physical layer of wireless communication systems, radar positioning in wireless systems, and wireless sensor networks. They also do channel measurements in different environments.

The connection between theory and practically relevant research fits well my research on Massive MIMO and Network MIMO. I presented my work to professors and doctoral students of the Ming Hsieh Department of Electrical Engineering. In doing so, and by talking with Prof. Molisch and his doctoral students, I gained insight to improve my work.

I analyzed the singular value spread of a broadcast channel matrix of a from a massive MIMO base station to single antenna receivers. The results showed that, similar to the theoretical Rayleigh fading model, the singular value spread decreases with an increasing number of base station antennas. This shows that the advantages of Massive MIMO are realized with realistic channels also.

On the weekends I did trips in and around Los Angeles. I enjoyed the art at the Getty Center, visited the beaches of Santa Monica and Venice and did daytrips to San Diego and Joshua Tree National Park.

Im August 2016 besuchte ich für vier Wochen die *Wireless Devices and Systems Group* (WiDeS) von Prof. Andreas Molisch. WiDeS ist Teil der bekannten *Viterbi School of Engineering* an der *University of Southern California* (USC), die älteste Privatuniversität Kaliforniens und eine der besten Universitäten weltweit. Es gibt dort ähnlich viele Studenten wie an der TUM. Der Campus beherbergt beeindruckende Gebäude und schöne Grünanlagen.

Die Mitarbeiter der WiDeS forschen auf höchstem wissenschaftli-

chen Niveau an praktisch relevanten Themen. Der Hauptfokus liegt auf dem *Physical Layer* von Funkkommunikation, weitere aktuelle Forschungsthemen sind Funkkommunikationssysteme, Positionsbestimmung in Funknetzwerken und Radar sowie Funksensornetzwerke. Einige der WiDeS-Doktoranden machen Experimente in der Antennemesskammer und Kanalmessungen in verschiedenen Umgebungen

Die Verbindung zwischen theoretischer und industrienaher Forschung passt gut zu meinen Analysen von Massive MIMO und Network MIMO, die im Rahmen einer Kooperation mit Nokia entstanden sind. Ich konnte an der USC meine Ergebnisse vor Professoren und Doktoranden der Ming Hsieh Elektrotechnik Fakultät vorstellen. Dabei und durch die Gespräche mit Prof. Molisch und seinen Doktoranden bekam ich wertvolle Hinweise für die Vervollständigung meiner Analysen.

Das Verhältnis von größtem zu kleinstem Singulärwert ist ein Maß für die Orthogonalität der Vektoren einer Matrix. In meinem Fall untersuchte ich das Verhältnis der Singulärwerte der Kanalmatrix von einer *Massive MIMO Basisstation* zu vielen Empfängern mit je einer Antenne. Je gleicher dabei der größte und der kleinste Singulärwert sind, umso orthogonaler sind die Zeilenvektoren der Kanalmatrix, die die verschiedenen Kanäle zu den Empfängern beschreiben. Dies bedeutet, dass es we-

niger Interferenz zwischen den Empfängern gibt. Die Untersuchungen zeigten, dass sich auch beim von mir genutzten WINNER-II-Kanalmodell der größte und kleinste Singulärwert mit steigender Sendeantennenanzahl der Basisstation sich immer mehr annähern, ebenso wie beim theoretischen Rayleigh-Fading-Modell. Daraus erkennt man, dass die Vorteile von Massive MIMO auch für realistische Kanäle erreicht werden können.

Die Wochenenden nutze ich für Ausflüge in die Umgebung von Los Angeles. So genoss ich die Kunst im und den Ausblick vom Getty Center, besuchte die Strände in Santa Monica und Venice und machte Tagesausflüge nach San Diego und in den Nationalpark Joshua Tree.

Auffallend war, dass der Großraum Los Angeles sehr auf das Verkehrsmittel Auto ausgerichtet ist. Es gibt sehr viele Autobahnen und die meisten Distanzen sind zu groß, um sie zu Fuß oder mit dem Fahrrad zu bewältigen. So gibt es an der USC riesige Parkhäuser für Mitarbeiter und Studenten. Erfreulicherweise wohnte ich im Stadtteil Brentwood, in dem Supermärkte, Cafes und Restaurants auch zu Fuß zu erreichen waren.

10
Internationale
Beziehungen



Skaterpark am Venice Beach (Foto: Stefan Dierks)

Hier finden Sie in alphabetischer Reihenfolge die Biografien der Gastwissenschaftler, die im Zeitraum von Oktober 2014 bis September 2016 mehrere Monate am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik verbracht haben.

Dr. Matthieu Bloch received the Engineering degree from Supélec, Gif-sur-Yvette, France, the M.S. degree in Electrical Engineering from the Georgia Institute of Technology, Atlanta, in 2003, the Ph.D. degree in

Engineering Science from the Université de Franche-Comté, Besançon, France, in 2006, and the Ph.D. degree in Electrical Engineering from the Georgia Institute of Technology in 2008.

In 2008-2009, he was a postdoctoral research associate at the University of Notre Dame, South Bend, IN. Since July 2009, Dr. Bloch has been on the faculty of the School of Electrical and Computer Engineering at the Georgia Institute of Technology, where he is currently an Assistant Professor. His research interests are in the areas of information theory, error-control coding, wireless communications, and cryptography.

Dr. Bloch is a member of the IEEE and has served on the organizing committee of several international conferences. He was the chair of the Online Committee of the IEEE Information Theory Society from 2011 to 2015. He is the co-recipient of the IEEE Communications Society and Information Theory Society 2011 Joint paper Award. He is the co-author of the textbook *Physical-Layer Security: From Information Theory to Security Engineering*, published by Cambridge University Press.



10.2 Curricula Vitae unserer Gastwissenschaftler

Gerhard Kramer, Günter Söder et al.

Guest Researchers at LNT/LÜT for three Weeks or Longer

01.10.2014–30.09.2016 (wochenweise zu Diskussionen und Vorträgen)

Dr. René-Jean Essiambre, TUM-IAS Rudolf Diesel Fellow
Bell Labs, Alcatel-Lucent, Crawford Hill, NJ, USA

05.10. 2014–26.10.2014

Ziv Goldfeld, M.Sc., Ph.D. Student
Ben-Gurion University of the Negev, Beersheva, Israel

01.02.2015–31.07.2015

Metodi Plamenov Yankov, Postdoc
Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

01.07.2015–31.12.2016

Prof. Fady El-Nahal, Alexander von Humboldt Fellow
Islamic University of Gaza, Palestine

15.08.2015–15.08.2016

Prof. Negar Kiyavash, Alexander von Humboldt Fellow
University of Illinois at Urbana-Champaign, IL/USA

01.12.2015–15.08.2016

Jalal Etesami, M.Sc., Ph.D. Student
University of Illinois at Urbana-Champaign, IL/USA

04.05.2015–15.06.2016 (wochenweise zu Blockveranstaltung)

Prof. Matthieu Bloch, Lecturer in the MSCE program
Georgia Tech, Atlanta, GA, USA

04.05.2015–10.07.2016 (wochenweise zu Blockveranstaltung)

Prof. Gernot Kubin, Lecturer in the MSCE program
Technische Universität Graz, Austria

01.04.2016–30.09.2016

Tao Guo, Ph.D. Student
The Chinese University of Hongkong, Hongkong

10.05.2016–01.07.2016 (wochenweise zu Blockveranstaltung)

Prof. Pierre Moulin, Lecturer in the MSCE program
University of Illinois at Urbana-Champaign, IL/USA

23.05.2016–25.07.2016 (wochenweise zu Blockveranstaltung)

Prof. Mari Kobayashi, Lecturer in the MSCE program
Département de Télécommunications at Supélec, Gif sur Yvette Cedex, France

28.05.2016–16.07.2016 (wochenweise zu Blockveranstaltung)

Prof. Andrew Singer, Lecturer in the MSCE program
University of Illinois at Urbana-Champaign, IL/USA

01.06.2016–31.10.2016

Edson Porto da Silva, M.Sc., Ph.D. Student
Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

04.07.2016–31.07.2016

Prof. Tony Ephremides,
University of Maryland, MD, USA

Dr. Bloch taught the *Advanced Topics in Communications Engineering* course in our MSCE program in 2015.

Prof. Fady El-Nahal was born in Libya, 1973. He is an associate profes-

sor with the Department of Electrical Engineering at the Islamic University of Gaza. He received the MPhil. degree in Microelectronic Engineering & Semiconductor Physics and the Ph.D. degree in Optical Communications Engineering from the University of Cambridge, UK, in 2000 and 2004, respectively. He is currently the chairman of The Oxford and Cambridge Society of Palestine. His research interests are in the area of high speed communication systems, optical data communications, applications of WDM components for data communications, multi-wavelength fiber optic networks, guided-wave and free space optical systems and components, tunable optical filters and other functional devices for wavelength division multiplexed optical networks, optics and SLM devices, telecommunications switches, holography and tunable lasers.

Prof. El-Nahal is an Alexander von Humboldt Georg Forster Research Fellow since June 2014. In Munich he works together with Prof. Hanik (LÜT).

Prof. Anthony Ephremides holds the Cynthia Kim Professorship of

Information Technology at the Electrical and Computer Engineering Department of the University of Maryland in College Park where he is a Distinguished University Professor and has a joint appointment at the Institute for Systems Research, of which he was among the founding members in 1986. He obtained his Ph.D. in Electrical Engineering from Princeton University in 1971 and has been with the University of Maryland ever since. He has been

named Distinguished University Professor.

He has held various visiting positions at other Institutions (including MIT, UC Berkeley, ETH Zurich, INRIA, etc.) and co-founded and co-directed a NASA-funded Center on Satellite and Hybrid Communication Networks in 1991. He has been the President of Pontos, Inc, since 1980 and has served as President of the IEEE Information Theory Society in 1987 and as a member of the IEEE Board of Directors in 1989 and 1990. He has been the General Chair and/or the Technical Program Chair of several technical conferences, e.g. the IEEE Information Theory Symposium in 1991, 2000, and 2011.

Prof. Ephremides has received the IEEE Donald E. Fink Prize Paper Award in 1991 and the first ACM Achievement Award for Contributions to Wireless Networking in 1996, the IEEE Third Millennium Medal, the 2000 Outstanding Systems Engineering Faculty Award from the Institute for Systems Research, and the Kirwan Faculty Research and Scholarship Prize from the University of Maryland in 2001, and a few other official recognitions of his work. He also received the 2006 Aaron Wyner Award for Exceptional Service and Leadership to the IEEE Information Theory Society.

Prof. Ephremides is a regular visitor at LNT, having taught the *Advanced Topics in Communications Engineering* course several times since 2008.

Dr. René-Jean Essiambre received his Ph.D. from Laval University,

Québec City, Canada and pursued post-doctoral studies at the Institute of Optics of the University of Rochester, Rochester, NY. In 1997, he joined Lucent Technologies (which became Alcatel-Lucent and now Nokia). Dr. Essiambre has worked on fiber lasers, optical fiber nonlinearity, advanced modulation formats, coherent detection, space-division multiplexing and informa-

tion theory applied to optical fibers. He has an extensive knowledge of fiber-optic communication systems and contributed to the design of many installed commercial systems. He has served on or chaired several conference committees, including OFC, ECOC, CLEO and the Photonics Society (formerly LEOS). He was program and general co-chair of CLEO Science & Innovation in 2012 and 2014, respectively. He is a recipient of the 2005 Engineering Excellence Award from OSA, he is a Fellow of the IEEE and the OSA, and a Distinguished Member of Technical Staff at Bell Labs, Nokia. He is also a Fellow of the Institute of Advanced Studies of the Technical University of Munich, and a member of the Board of Governors of the Photonics Society (IEEE) as well as adjunct VP of member advancement.

Dr. Essiambre was a *TUM Institute for Advanced Study Rudolf Diesel Fellow* until the end of 2015.

Jalal Etesami received his B.S. degree in Electrical Engineering from

Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran in 2009, and the M.S. degree in communication and electrical engineering from Jacobs University in Bremen in 2011. He is a Ph.D. candidate in industrial and enterprising systems engineering at University of Illinois at Urbana-Champaign. His doctoral research is conducted with Negar Kiyavash. It focuses on inference in complex networks, which lies at the intersection of information theory and statistical signal processing. His research addresses a challenging problem: How to infer causal and non-causal

interactions between components in a network. This has a range of applications, including social networks, stock markets, and neuroscience.

Mr. Etesami visited us together with Prof. Kiyavash in 2015/2016.

Tao Guo received his B.E. in Telecommunications Engineering from



Xidian University, Xi'an, China, in 2013. Since August 2013, he has been pursuing his Ph.D. at the Department of Information Engineering, The Chinese University of Hong Kong, China. In summer 2016, he has been a guest researcher at LNT. His research interests are in the areas of multiuser information theory, with a focus on multiple descriptions.

Mr. Guo visited us during 2016 as part of his Ph.D. studies.

Prof. Negar Kiyavash is Willett Faculty Scholar at the University of Illinois and a joint Associate Professor of Industrial and Enterprise Engineering and Electrical and Computer Engineering.



She is also affiliated with the Coordinated Science Laboratory (CSL) and the Information Trust Institute. She received her Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from the University of Illinois at Urbana-Champaign in 2006. Her research interests are in design and analysis of algorithms for network inference and security. She is a recipient of NSF CAREER and AFOSR YIP awards and the Illinois College of Engineering Dean's Award for Excellence in Research.

Prof. Kiyavash was an Alexander von Humboldt Research Fellow in 2016. During her sabbatical in Munich, she organized together with Kun Zhang (University of California), Gerhard Kramer and her assistant Jalal Etesami *the Munich Workshop on Causal Inference & Information Theory* (MCI 2016, see p. 112).

Prof. Mari Kobayashi received the B.E. degree in Electrical Engineering from Keio University, Yokohama, Japan, in 1999 and the M.S. degree in mobile radio and the Ph.D. degree from



École Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, France, in 2000 and 2005, respectively. In her Ph.D. thesis she contributed to space-time coding design for frequency-selective channels, practical precoding design for the MISO broadcast channel with partial channel state information at transmitter.

From 2005 to 2007, she was a postdoctoral researcher at the Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya, Barcelona, Spain. During her post-doc, while studying further on the design of MISO broadcast channel with feedback, she worked on cooperative communications through an IST funded STREP Cooperative and Opportunistic Communications in Wireless Networks. In May 2007, she joined the Telecommunications department at CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette, France,

where she is now professor. Her current research interests include multi-antenna multiuser communication theory, physical layer security, and content delivery. She is the principal investigator for the project on “Online Coded Caching” funded by Huawei French Research Center and has a Ph.D. grant by Orange on device-to-device aided massive MIMO communications. She is the recipient of the Newcom++ Best Paper Award in 2010, the IEEE Joint Information Theory/Communications Society Best Paper Award in 2011, and a senior member of IEEE.

Prof. Kobayashi taught the *Advanced Topics on Communications Engineering* course in our MSCE program in 2016.

Prof. Gernot Kubin was born in Vienna, Austria, in 1960. He received



his Dipl.-Ing. (1982) and Dr. techn. (1990, sub auspiciis praesidentis) degrees in EE from TU Vienna. He is Professor of Nonlinear Signal Processing and Head of the Signal Processing and Speech Communication Laboratory (SPSC) at TU Graz/Austria since 2000. At TU Graz, he has been Dean of Studies in EE-Audio Engineering 2004-2007, Chair of the Senate 2007-2010 and 2013-now, and he has coordinated the Doctoral School in Information and Communications Engineering since 2007. Earlier international appointments include CERN Geneva/CH 1980, TU Vienna 1983-2000, Erwin Schrödinger Fellow at Philips Natuurkundig Laboratorium Eindhoven 1985, AT&T Bell Labs Murray Hill 1992-1993 and 1995, KTH Stockholm 1998, and Global IP Sound 2000-2001 and 2006, UC San Diego & UC Berkeley 2006, and UT Danang, Vietnam 2009. He has held leading positions in several national research centres for academia-industry collaboration such as the Vienna Telecommunications Research Centre FTW and the Christian Doppler Laboratory for Nonlinear Signal Processing.

Prof. Kubin taught the *Advanced Topics in Signal Processing* course in the MSCE program in 2015.

Prof. Pierre Moulin received his doctoral degree in 1990, after which



he joined Bell Communications Research as a Research Scientist. In 1996, he joined the University of Illinois at Urbana-Champaign, where he is currently Professor in the Department of Electrical and Computer Engineering, Research Professor at the Beckman Institute and the Co-

ordinated Science Laboratory, and Affiliate Professor in the Department of Statistics. His fields of professional interest include statistical decision theory, statistical signal processing and modeling, information security, and Shannon theory.

Dr. Moulin has served on the editorial boards of the IEEE Transactions on Information Theory, the IEEE Transactions on Image Processing, and the Proceedings of IEEE. He was co-founding Editor-in-Chief of the IEEE Transactions on Information Forensics and Security (2005-2008) and has served IEEE as a member of the IEEE Signal Processing Society Board of Governors (2005-2007), the IEEE Information Theory Society Board of Governors (2016-2018), and various other functions. He was co-recipient of two best paper awards from the IEEE Signal Processing Society, plenary speaker for ICASSP, ICIP, and several other conferences, and Distinguished Lecturer of the IEEE Signal Processing Society for 2012-2013.

Prof. Moulin taught the *Advanced Topics in Signal Processing* course in the MSCE program in 2016, together with Prof. Singer.

Edson Porto da Silva, M.Sc., was born in Pocinhos, Brazil, in 1988. He



received the B.Sc. degree in Electrical Engineering from Federal University of Campina Grande (UFCG) in Campina Grande, Paraíba, Brazil, in 2011, and the M.Sc. degree in Electrical Engineering from State University of Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brazil, in 2013. From July 2011 to November 2013, he was with the Center for Research and Development in Telecommunications (CPqD), Campinas, Brazil, working as researcher in coherent optical communications and focused on experimental demonstrations of 400 Gbit/s WDM systems. He is currently pursuing his Ph.D. degree at the Photonics Engineering (Fotonik) Department, Technical University of Denmark (DTU), Kgs. Lyngby, Den-

mark. His current research topics are digital signal processing for optical coherent receivers, mitigation of fiber non-linear impairments, high-speed optical transmission, and machine learning techniques.

Mr. Porto da Silva visited us in 2016 as part of his Ph.D. studies.

Prof. Andrew Singer received the S.B., S.M., and Ph.D. degrees, all in



electrical engineering and computer science, from the Massachusetts Institute of Technology. Since 1998, he has been on the faculty

of the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Illinois at Urbana-Champaign, where he currently holds a Fox Family Endowed Professorship in the Electrical and Computer Engineering department. During the academic year 1996, he was a Postdoctoral Research Affiliate in the Research Laboratory of Electronics at MIT. From 1996 to 1998, he was a Research Scientist at Sanders, A Lockheed Martin Company in Manchester, New Hampshire, where he designed algorithms, architectures and systems for a variety of DOD applications. His research interests include signal processing and communication systems.

He received the National Science Foundation CAREER Award in 2000; in 2001 he received the Xerox Faculty Research Award, and in 2002 he was named a Willett Faculty Scholar. In 2005, he was appointed the Director of the Technology Entrepreneur Center (TEC) at the University of Illinois, where he directs a wide range of entrepreneurship and innovation activities in the College of Engineering and serves as Special Advisor to the Dean for Innovation and Entrepreneurship. In 2006 he received the IEEE Journal of Solid State Circuits Best Paper Award for the paper entitled "An MLSE Receiver for Electronic Dispersion Compensation of OC-192 Fiber Links." In 2008, he received the IEEE Signal Processing Magazine Award for the paper entitled

"Turbo Equalization." In 2009, he was elected Fellow of the IEEE "for contributions to signal processing techniques for digital communication," and in 2014, he was named as a Distinguished Lecturer of the IEEE Signal Processing Society.

Prof. Singer enjoys many forms of outdoor sports, including competing in triathlons and marathons. He has competed at all distances from sprint and olympic distance triathlons to ultra-marathons and the Ironman triathlon.

Prof. Singer taught the *Advanced Topics in Signal Processing* course in the MSCE program in 2016, together with Prof. Moulin.

Dr. Metodi Plamenov Yankov received a B.Eng. degree from the



Technical University of Sofia, Bulgaria, in 2010 in the field of radio communications, and a M.Sc. degree from the Technical University of Denmark (DTU), Lyngby in 2012 in the area of signals and transmission technology for telecommunications.

He obtained a Ph.D. degree from DTU in March 2016. The title of his thesis was "Capacity estimation and near-capacity achieving techniques for digitally modulated communication systems". He has since been employed as a post-doc at the Coding and Visual Communications group at DTU, Department of Photonics Engineering. His interests include coded modulation and iterative receivers, as well as information theory of both wireless and optical channels.

Mr. Yankov visited us in 2015 as part of his Ph.D. studies..

10.3 Vorträge von Gästen

Nebenstehend sind die 37 Vorträge von den Gästen aufgeführt, die uns im Berichtszeitraum 10/2014 – 09/2016 besucht haben. Nicht aufgeführt sind hier die 86 externen Vorträge im Rahmen verschiedener vom LNT (mit)organisierter Veranstaltungen:

- ITG-Fachgruppensitzung (Kap. 9.1),
- Workshop MIO 2014 (Kap. 9.2),
- Marko-Kolloquium (Kap. 9.3),
- 17th JCCC in Stilfs (Kap. 9.4),
- Workshop MCM 2015 (Kap. 9.5),
- Workshop MMM 2015 (Kap. 9.6),
- Workshop MIO 2015 (Kap. 9.7),
- 100 Jahre C. E. Shannon (Kap. 9.9),
- Workshop BCC 20116 (Kap. 9.10),
- Workshop MCI 20116 (Kap. 9.11),
- LNT & DLR Workshop (Kap. 9.12).

The following is a list of 37 talks that visitors gave during the time period 10.2014 – 09.2016 covered by this report. The list does not include 86 talks held during various events (see Chapter 9).

- | | |
|------------|---|
| 20.10.2014 | Dr. Pablo M. Olmos , University Carlos III de Madrid, Spain:
Improving the Finite-Length Performance of Spatially Coupled LDPC Codes by Connecting Multiple Code Chains |
| 27.10.2014 | Prof. Haris Vikalo , University of Texas at Austin, TX, USA:
Decoding Genetic Variations: Communications-Inspired Haplotype Assembly |
| 28.11.2014 | Dipl.-Ing. Andreas Lehmann , Lehrstuhl für Informationsübertragung (LIT), FAU Erlangen-Nürnberg:
Standardization and Modelling for Communications in Disaster Situations |
| 01.12.2014 | Prof. Aylin Yener , Pennsylvania State University, PA, USA:
Energy Harvesting Wireless Communication Networks |
| 04.12.2014 | Dr. Khoa Nguyen , University of South Australia, Australia:
Rate Adaptive for Finite-length Block-fading Channels |
| 12.12.2014 | Dr. Sander Wahls , TU Delft, The Netherlands:
Towards Fast Inverse Nonlinear Fourier Transforms For Fiber-Optic Communications |
| 19.12.2014 | Dr. Jossy Sayir , University of Cambridge, UK:
Sudoku Codes, a Class of Non-Linear Iteratively Decodable Codes |
| 15.01.2015 | Dr. Petros Elia , EURECOM, Sophia Antipolis, France:
Topology and Feedback: Timeliness and Quality (joint work with Jinyuan Chen and Syed) |
| 29.01.2015 | Dr. Hsuan-Yin Lin , NCTU (Taiwan) and TU Darmstadt:
Optimal Finite Blocklength Code Design on Two Special Binary Channels |
| 12.02.2015 | M.Sc. Marco Mondelli , École polytechnique fédérale de Lausanne, Switzerland:
Unified Scaling of Polar Codes: Error Exponent, Scaling Exponent, Moderate Deviations, and Error Floors |
| 18.05.2015 | Prof. Albert Guillen i Fabregas , Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain:
Error Probability and Hypothesis Testing |
| 26.05.2015 | Federico Clazzer (DLR Oberpfaffenhofen):
Random Access with Spatial Diversity and Finite Delay |
| 28.05.2015 | Dr. Andreas Leven , Bell Labs Deutschland, Stuttgart:
Inventing the Past, Present & Future |
| 29.05.2015 | Dr. Christian Senger , University of Toronto, Canada:
Fast Algebraic List Decoding |
| 08.06.2015 | Dr. René-Jean Essiambre , Crawford Hill, NJ, USA
The Ultimate Limit of Optical Fibers to Carry Information |

- 10.07.2015 Dr. **Fernando Rosas**, KU Leuven University, Belgium:
Understanding Synergistic Correlations and Complex Information Sharing
- 13.08.2015 Dr. **Sergey Loyka**, University of Ottawa, Canada:
A General Formula for Compound Channel Capacity
- 03.09.2015 M.Sc. **Tamás Kói**, Budapest University of Technology and Economics (BUTE), Hungary:
Random Access and Source-Channel Coding Error Exponents for Multiple Access Channels
- 03.09.2016 M.Sc. **Lóránt Farkas**, Budapest University of Technology and Economics (BUTE), Hungary:
Error Exponents of Asynchronous and Controlled Asynchronous Multiple Access Channels
- 07.09.2015 Dr. **Li Gong Wang**, Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), France:
Communication with Low Probability of Detection
- 10.09.2015 Prof. **Negar Kiyavash**, University of Illinois, IL, USA:
A Timing Approach to Causal Network Inference
- 28.10.2015 Prof. **Alexandre Graell i Amat**, Chalmers University of Technology, Sweden:
Wireless Distributed Storage with Device-to-Device Communication
- 28.10.2015 M.Sc. **Mikhail Ivanov**, Chalmers University of Technology, Sweden:
All-to-all Broadcast for Vehicular Networks Based on Coded Slotted ALOHA
- 02.11.2015 Dr. **Fady El-Nahal**, Islamic University of Gaza, Palestine:
Technologies for Future Optical Access Networks
- 17.11.2015 Dr. **Christoph Hofer-Temmel**, De Nederlandse Defensie Academie (NLDA), The Netherlands:
Existence and Representation Problems in Discrete Stationary Processes
- 03.12.2015 Dr. **Giuseppe Durisi**, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden:
How Much Energy is Needed to Transmit K Bits over a Fading Channel?
- 13.01.2016 M.Sc. **Ivan Simões Gaspar**, TU Dresden, Germany:
Waveform Advancements and Synchronization Techniques for GFDM
- 18.01.2016 Dr. **Antonia Wachter-Zeh**, Technion Israel Institute of Technology, Haifa, Israel:
Coding for Storage and Networks: Decoding of Crisscross Errors
- 21.01.2016 Prof. **Matsumoto Tadashi**, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST), Japan:
Cooperative Communications: from the Correlated Source Coding Theorem Viewpoint

- 14.03.2016 M.Sc. **Mohamed Gaafar**, King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia:
Improper Gaussian Signaling in Full-Duplex Relay Channels with Residual Self-Interference
- 01.04.2016 Prof. **Frans Willems**, Eindhoven University of Technology, The Netherlands:
Information Leakage in Security Systems Based on SRAM-PUFs
- 01.04.2016 Prof. **Stephan ten Brink**, University of Stuttgart:
On Belief Propagation Decoding of Polar Codes
- 30.05.2016 Dr. **Marco Martalo**, University of Parma, Italy:
Phase Noise Channel: Models and Fundamental Limits
- 21.07.2016 Prof. **Christophe Peucheret**, Université de Rennes, France:
Parametric All-optical Signal Processing on the Silicon Platform
- 22.07.2016 Prof. **Yingquan Wu**, Micron Technology, USA:
Generalized Integrated Interleaved Codes
- 21.07.2016 Prof. **Christophe Peucheret**, Université de Rennes, France:
Parametric All-optical Signal Processing on the Silicon Platform
- 10.08.2016 M.Sc. **Farzin Salek**, Micron Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran:
A Distributed Opportunistic MAC Protocol for Multichannel Wireless Networks



Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation

Christoph Günther

Im Folgenden berichten wir über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Kommunikation und Navigation (kurz NAV), an dem derzeit zwei Senior Researchers (Dr. Giorgi, Dr. Henkel) sowie vier Doktoranden (A. Brack, Y. H. Lee, M. Lülf und C. Zhu) arbeiten. Enge wissenschaftliche Kontakte bestehen zum gleichnamigen Institut des Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Zhibo Wen ist zum 31.12.2015 ausgeschieden. Seine Doktorprüfung wird 2017 sein.

Der folgende englische Bericht beinhaltet

- die neuen Mitarbeiter am NAV,
- unsere sechs Vorlesungen,
- die beiden angebotenen Praktika,
- Master- und Bachelorarbeiten,
- unsere Forschungsaktivitäten,
- vier Arbeitsgebiete im Detail,
- drei externe Forschungsprojekte,
- die Publikationen seit 10/2014.

New employees:

Young-Hee Lee, M.Sc., was born in 1989, Seoul, South Korea. She received her bachelor's (2013) and master's degree (2015) in aerospace engineering from Korea Advance Institute of Science and Technology (KAIST) in Daejeon, South Korea. The title of her master's thesis was *Genetic and Local Search Hybrid Algorithm Application for Solar*



Sailing Spacecraft Two Point Boundary Value Problem.

After her master's thesis, Ms. Lee worked for seven months on *Guidance Trajectory Generation for Agile Missions with Control Moment Gyroscopes* at Airbus Defence & Space in Friedrichshafen as an intern. In May 2016, Ms. Lee joined us as a Ph.D. candidate. She is working on visual SLAM for swarm navigation. Since October 2016, she is also a teaching assistant for the course Visual Navigation.

Martin Lülf, M.Sc., was born in 1989 in Oberhausen. He performed his bachelor studies on Electrical Engineering and Information Technology at the Technical University of Munich, and completed them in 2012

with a thesis on *Evaluation of Synchronization Algorithms with USRP*.

He obtained his master's degree in 2015 with a thesis on *Reliable GNSS Carrier Phase-based Estimation for Attitude Determination Applications*.

In September 2016, M. Lülf joined the NAV chair, where he analyzes Galileo measurements to improve our confidence in the general theory of relativity. Since 2008 M. Lülf is contributing to the *Student Satellite Initiative in Munich* (SSIMUC) and since 2010, he also supervises the *Satellite Communications Laboratory*.

Teaching:

The Institute of Communications and Navigation has offered during the report period 2014-2016 six lectures and two laboratory courses:

(A) Satellite Navigation

(Prof. Günther, A. Brack)

- Radio based determination of position, time and velocity
- Satellite constellations and orbits
- Signals (modulation and coding) and navigation services (GPS and Galileo)
- Acquisition and tracking
- Discriminators for delay, frequency, phase
- Multipath, ionospheric and tropospheric propagation and their mitigation
- Accuracy of position and time
- Reference systems for position and time
- Relativistic corrections

(B) Differential Navigation

(Prof. Günther, Dr. Henkel)

- Differential GPS and GNSS
- Carrier smoothing
- Ground Based Augmentation Systems (GBAS)
- Space Based Augmentation Systems (SBAS)
- Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)
- Integrity
- Carrier phase ambiguity resolution

(C) Inertial Navigation

(Dr. Patrick Henkel)

- Introduction to fundamentals of inertial navigation
- Navigation equations for inertial navigation
- Initialization and calibration of inertial sensors with satellite navigation
- System error dynamics
- Integration of inertial measurements
- Estimation of drift and scaling factor of inertial sensors
- Sensor fusion of inertial navigation and satellite navigation: loose, tight and deep coupling
- Sensor technologies

(D) Precise Point Positioning

(Dr. Patrick Henkel)

- Introduction to Precise Point Positioning
- Traditional PPP with Melbourne-Wübbena and Ionosphere-Free Linear Combinations
- Cascaded Kalman Filtering
- Reliable Carrier Phase Integer Ambiguity Resolution
- Joint subset determination and integer least-squares estimation
- Best Integer Equivariant Estimation
- Precise Point Positioning with low-cost single frequency GNSS receivers
- Orbital corrections
- Multi-Sensor Fusion for joint PPP and Attitude determination

(E) Terrestrial Navigation

(Prof. Michael Meurer)

- Basics of radio propagation: Pathloss, Shadowing, Multipath
- Navigation algorithms: Distance- and time-of-arrival based navigation, distance difference, time-difference-of-arrival based navi-

gation, angle-of-arrival based navigation signature based navigation, multilateration, hyperbolic localization

- Cooperative navigation in radio networks
- Cramér-Rao bound for localization accuracy
- Trajectory based navigation: Temporal post-processing, Kalman filtering
- Navigation using GSM, UMTS, RFID, WLAN, Bluetooth

(F) Visual Navigation

(Dr. Gabriele Giorgi)

- Elements of computer vision and image processing: image formation and characteristics; feature detection, description, tracking and matching.
- Introduction to camera models. 2D/3D projective geometry. Single- and dual-view geometry.
- Camera motion estimation and mapping of sensed environment.
- Elements of probabilistic estimation.
- Simultaneous localization and mapping techniques.
- Kalman and Extended Kalman filters.
- Data association and map management strategies.

Laboratories:

(A) Satellite Navigation

Laboratory (M.Sc. Chen Zhu)

- Satellite orbits
- Positioning algorithms
- Signal acquisition
- Signal tracking
- Corrected pseudoranges
- Differential positioning

(B) Satellite Communication

Laboratory (M.Sc. Martin Lülf)

The students have built a 3 meter antenna using an old Kuka-Robot. They developed the necessary control hardware and software to use this robot as an antenna stand for satellite missions. More work is needed to improve the tracking control, as well as the functionality of the software defined receiver. The station is to be used in ESA's European Student Earth Orbiter (ESEO).

Master's Theses

In the period 10/2014–09/2016 the assistants of the NAV chair supervised ten master's theses:

14.10.2014 **Steffen Dempfle** – Betreuer: Dr. Giorgi, M. Felux (DLR): Navigation System Error Model for Future Dual-Frequency and Dual-Constellation GBAS

30.10.2014 **Qingchen Zhang** – Betreuer: Dr. Henkel: Statistics of Tightly Coupled Position and Attitude Determination

19.12.2014 **Philipp Berthold** – Betreuer: Dr. Henkel: Multi-Sensor Fusion Framework for Autonomous Systems

19.12.2014 **Patrick Burger** – Betreuer: Dr. Henkel: Tightly Coupled Sensor Fusion with Camera Images, Satellite Images, GPS and INS

16.01.2015 **Lai Yi** – Betreuer: Dr. Giorgi, M.-S. Circiu (DLR): Dual Frequency Ephemeris Monitor for GBAS

26.02.2015 **Martin Lülf** – Betreuer: Dr. Giorgi: Reliable GNSS Carrier Phase-based Estimation for Attitude Determination Applications

28.02.2015 **Adrian Pruneau** – Betreuer: Chen Zhu: Ranging-Assisted Monocular Visual Odometry

29.09.2015 **Michele Iafrancesco** – Betreuer: Dr. Henkel: GPS/ INS tightly coupled position and attitude determination with low-cost sensors

29.09.2015 **Andreas Sperl** – Betreuer: Dr. Henkel: Joint RTK and Attitude Determination

22.08.2016 **Ulrich Mittmann** – Betreuer: Dr. Patrick Henkel: Joint GPS/GLONASS Ambiguity Resolution with a Low-cost GNSS Receiver.

Bachelor's Theses

In the same period from October 2014 till September 2016 there were two bachelor's theses:

18.07.2014 **Simon Bilgeri** – Betreuer: Chen Zhu:
Three-View RGB-D System and its Spatial Uncertainty Model

29.09.2015 **Christian Werner** – Betreuer: Dr. Giorgi:
Implementation of a Vision-based SLAM System with Inertial Aid

Research:

The Institute of Communications and Navigation contributes to the development of satellite navigation, visual navigation and inertial navigation solutions. A particular focus is on algorithms for position estimation, often using inputs from satellite navigation receivers, camera and inertial measurement units. The results are relevant to a wide range of land, maritime and airborne applications, which includes in particular also autonomous driving of vehicles.

Satellite navigation receivers provide pseudorange and carrier phase measurements. The use of the carrier phase in position estimation allows achieving centimeter- to millimeter-precision. Due to the periodicity of the carrier phase the associated measurements are ambiguous and this ambiguity must thus be resolved. This is a challenging task, since the sum of the uncorrected atmospheric errors, clock errors, orbital errors and biases has to be reduced to a fraction of the wavelength. The latter is 19 cm only for the widely used L1-signal.

Depending on the amount of prior or side knowledge, the convergence of the associated estimation algorithms can be very slow and the estimation of the integers that describe the number of periods between the satellites and the receiver in Precise Point Positioning (PPP) takes up to 15-20 Minutes. Estimating a subset of the integer ambiguities leads to clear improvements.

Andreas Brack has developed partial ambiguity fixing methods that

enable a much faster fixing of the ambiguities than possible with conventional approaches. The benefit increases with the number of satellites, i.e. partial fixing becomes even more attractive with Multi-GNSS including GPS, Galileo, QZSS and BeiDou. The work of Andreas Brack is described in more details on page 136.

The integer ambiguity resolution in PPP requires the knowledge of satellite phase biases, i.e. differential signal offsets in the hardware of the transmitting satellite and/or the receiver. *Zhibo Wen* has developed a method for the estimation of these satellite phase biases using a network of reference stations. As the estimation of an individual bias for each receiver and satellite and an integer ambiguity for each satellite receiver link is not feasible, he developed a parameter mapping, which overcomes the rank deficiency of the system of equations but still preserves the integer property of ambiguities. *Zhibo Wen* also introduced a sidereal filtering for the correction of the multipath and a multi-stage processing to enable a faster convergence of the estimation of the satellite phase biases.

The work of *Martin Lülf* and *Gabriele Giorgi* is described on page 137: Two Galileo satellites were launched into orbits with an increased eccentricity. Since the Galileo satellites carry very stable Hydrogen masers, this provides an excellent opportunity to observe the relativistic gravitational redshift. It is determined by comparing the time evolution on the satellite with its counterpart on Earth. The latter one is measured at reference stations also equipped with Hydrogen masers.

Martin Lülf uses measurements from selected stations of the International GNSS Service (IGS) to estimate the satellite clock offsets and eliminate spurious contributes. The current observations let us hope to outperform the previous bounds on the accuracy of the relativity theory set by Gravity Probe A.

The work of *Chen Zhu* is described on page 138: The visual navigation performed by humans is



accurate, reliable, and provides stereo vision with depth perception. A number of platforms have difficulties in accommodating two cameras, e.g. due to weight or power constraints, and can thus not utilize the benefits of stereo vision. Although simpler, monocular vision lacks the necessary sense of depth required to navigate an environment, moving platforms can recover the third dimension by processing images at different instances. However, without the aid of additional sensors or a-priori known geometrical information, the global scale of the estimated path and environment cannot be reconstructed.

Chen Zhu has developed methods to recover the scale by using selected range measurements between rovers or between a rover and a reference station. This enables using simple and compact monocular systems without degrading the observability of the scene.

The work of *Patrick Henkel* is described on page 139: Autonomous driving requires a precise, reliable, and continuous position estimation. In typical urban environments, this can be achieved to a significant extent by the fusion of pseudorange and carrier-phase (from satellite navigation receivers) and acceleration as well as turn rate (from inertial units) measurements.

Patrick Henkel developed methods for jointly using the measurements from several satellite constellations (GPS, Glonass, and Galileo) and an inertial unit. Critical issues are the estimation of the multipath disturbances occurring in urban environments as well as the fixing of the ambiguities.

On the following pages 136-139 you will find detailed descriptions of our research.

Partial Ambiguity Resolution for Reliable GNSS Positioning

Andreas Brack

Zum schnellen Erreichen einer Positionsgenauigkeit im Zentimeterbereich mittels Satellitennavigationssystemen ist die Verwendung von Trägerphasenmessungen unerlässlich. Diese können nur nach Auflösung der ganzzahligen Mehrdeutigkeiten als hochgenaue Laufzeitmessungen verwendet werden. Eine *zuverlässige* und *schnelle* Auflösung aller Mehrdeutigkeiten ist oftmals nicht gleichzeitig möglich.

Um eine zufriedenstellende Genauigkeit zu erreichen, kann es bereits ausreichend sein, wenn nur eine Teilmenge aller Mehrdeutigkeiten fixiert wird. Dadurch können deutlich schneller Lösungen gefunden werden. Die Arbeiten am Lehrstuhl beinhalten theoretische Grundlagen, Nutzeralgorithmen, Implementierungsaspekte und numerische Auswertungen anhand von GPS, Galileo und BeiDou-Messungen.

In *global navigation satellite system* (GNSS) based positioning, two types of measurements are available at the receiver: the code-based pseudoranges and the carrier-phases. The

latter ones are roughly two orders of magnitude less noisy, but can only be determined up to an integer multiple of complete cycles due to the periodicity of the carrier-signal. Correctly resolving the unknown number of cycles between satellites and the receiver as integer values transforms the carrier-phase measurements to very precise pseudoranges, thus making a highly accurate estimate of the user position possible. This technique is the key to fast and precise GNSS positioning, i.e., without the need of long convergence times.

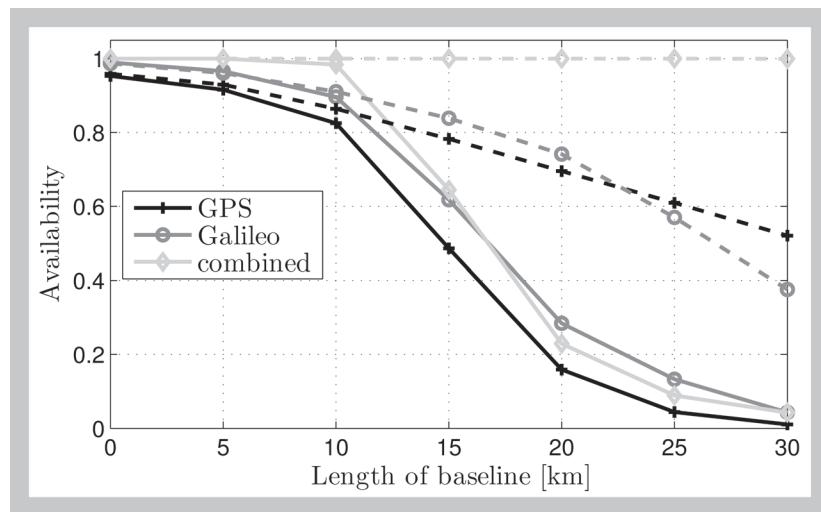
From a mathematical point of view, this is an estimation problem with mixed integer- and real-valued parameters, where the sole purpose of estimating the integers is to improve the precision of the real-valued parameters, which include the user position and if required also atmospheric and instrumental delays. Since an incorrect estimate of the integer parameters can easily lead to a position error of several meters, the estimator should be designed such that a user-defined failure rate is not exceeded. This, however, may hinder fast ambiguity resolution and thereby fast positioning results. One way to overcome this problem is to consider partial ambiguity resolution techniques, i.e., resolving only a subset of all ambiguities [1].

The following problems have to be faced in this context. Given an observation model and a set of measurements, how do we determine the subset of ambiguities to be resolved and what is the corresponding integer estimate? The overall failure rate must thereby not exceed our predefined maximum value. One can think of a vast amount of ways to approach this problem. The goal is to find solutions resulting in a positioning performance that is as good as possible, while keeping the computational complexity compatible with real time applications.

We aim at achieving instantaneous positioning with centimeter level accuracy. The availability of such positioning results is limited by the uncertainty of the residual atmospheric delays in the observations. In differential positioning scenarios, this uncertainty increases with increasing baseline length, e.g., with increasing distance from a nearby reference station. The average availability of centimeter level position estimates in the area of Munich is shown in the figure for dual frequency GPS, Galileo, and combined GPS + Galileo positioning. The solid lines show the results for full ambiguity resolution, whereas the dashed lines show the benefit of resolving only a subset of all ambiguities. We can see that partial ambiguity resolution techniques considerably extend the range for instantaneous positioning, especially for upcoming multi-GNSS solutions, where the measurements of different GNSS are processed jointly, see also [2].

Literature:

- [1] Brack, A.; Günther, C.: Generalized Integer Aperture Estimation for Partial GNSS Ambiguity Fixing. In: *Journal of Geodesy*, vol. 88, no. 5, pp. 479-490, May 2014
- [2] Brack, A.: Partial Ambiguity Resolution for Reliable GNSS Positioning: a Useful Tool? In: *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, March 2016



Average availability of centimeter level positioning results

Testing General Relativity Using Galileo Satellites

Martin Lülf und Gabriele Giorgi



Die Bahnen der beiden Galileo-Satelliten (E18 und E14) weisen eine signifikante Exzentrizität auf. Sie durchlaufen damit Bereiche mit unterschiedlichen gravitativen Potenzialen. Die hochpräzisen Wasserstoff-Maser auf den Satelliten können entsprechend genutzt werden, um die Übereinstimmung der gemessenen und der durch die allgemeine Relativitätstheorie vorausgesagten relativen Gang der Uhren zu überprüfen.

Am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation werden dafür die Galileo-Signale von einem globalen Netzwerk von Bodenstationen ausgewertet und analysiert. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA).

The theory of general relativity predicts that a clock at a higher altitude appears to tick faster than a reference clock placed at a lower altitude. This effect is called gravitational redshift.

So far, the most accurate measurement of this effect was performed in 1976 by the Gravity Probe A (GP-A) experiment [1], with an accuracy of 140 ppm. The experiment sent a rocket with a very stable hydrogen maser on a ballistic trajectory to a height of 10,000 km and back to earth. Three different signals were exchanged between the ground station and the rocket to compensate for first-order Doppler shift and atmospheric delays and obtain the relative time dilation between the clocks on the rocket and on ground. The experiment lasted one hour and 55 minutes.

Due to a malfunction of the Soyuz launch vehicle during deployment of two Galileo satellites (denoted with E18 and E14) these satellites were injected into eccentric orbits rather than into their nominal, almost circular ones. They thus experience a varying gravitational potential as they move between a height of 17,150 km and a height of 26,000 km. These

satellites carry ultra-stable hydrogen masers, i.e. the same type of clocks as those carried by Gravity Probe B. The span of gravitational potentials visited is smaller than for the Gravity Probe A experiment. However, the capability of observing cycles of such changes over long periods of time, bear the potential of reducing the measurement uncertainty.

The navigation signals transmitted by the satellites enable determining their orbits with cm-level accuracy and to estimate the clock offsets with sub-nanosecond accuracy (see figure). These signals broadcast by the Galileo satellites are continuously observed and stored by a global network of ground stations. Observations from E18 are available since 29th November 2014, whereas observations from E14 are available since 19th March 2015. This already provides 875 days of data for both satellites (as for the 24th of June 2016). The satellites are expected to be transmitting for several additional years, thus allowing to refine the estimation of the gravitational redshift.

The GP-A experiment was specifically tailored to extract the signature of the gravitational redshift, whereas the primary purpose of the Galileo navigation signals is to localize users on earth.

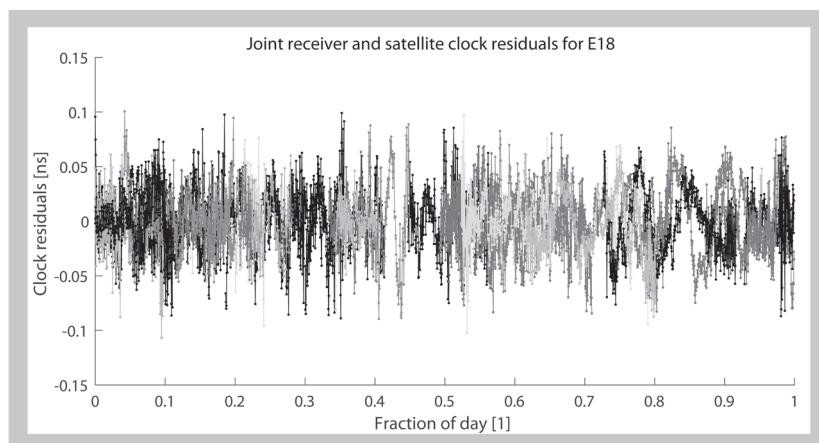
As a consequence, a number of impairments and disturbances are not

eliminated by design and must be estimated [2]. These include the satellite orbits, earth tides, atmospheric delays, carrier phase ambiguities and hardware-dependent biases. In order to assess the accuracy of the estimated satellite clock, an accurate and unbiased stochastical model needs to be formulated, which requires careful analysis and over bounding of observations and estimation errors.

In a joint effort with the center of applied space technology and microgravity (ZARM) and the European space agency (ESA), we aim to increase the accuracy of the estimation by at least one order of magnitude as compared to GP-A.

Literature:

- [1] Vessot, R.F.C.; Levine, M.W.: A Test of the Equivalence Principle using a Space-borne Clock. In: *General Relativity and Gravitation*, 10, pp. 181–204, 1979
- [2] Giorgi, G. et al.: Testing General Relativity using Galileo Satellite Signals. In: *Proc. of the 2016 European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Sept. 2016



Cooperative Vision-based Swarm Navigation

Chen Zhu

Bildbasierte Positionierungs- und Navigationssysteme haben für Explorationsaufgaben von autonomen Robotern große Bedeutung, insbesondere dann, wenn kein Satellitenempfang möglich ist. Als eine vielversprechende Option für zahlreiche Aufgaben haben sich Gruppen von Robotern erwiesen, die als Schwarm kooperativ agieren.

Schwarm-basierte Anwendungen müssen aufgrund von Größen-, Gewichts- und Kostenanforderungen in der Regel mit einer einzigen Kamera operieren. Die damit verbundene, monokulare Schätzung der Trajektorie und Karte ist mehrdeutig da die Skalierung nicht bekannt ist. Wir haben ein Verfahren entwickelt, das die globale Skalierung der Trajektorie mit Entfernungsmessungen von einem Schwarmelement bestimmt.

Autonomous robotic exploration missions usually rely on several sensors such as IMUs (*Inertial Measurement Units*), laser scanners and cameras to navigate the robots. In recent years,

vision systems based on cameras have raised significant interests in the field of navigation and exploration, since cameras can provide a great amount of information and a high level of details about the environment. They thus play a central role in GNSS (*Global Navigation Satellite System*)-denied environments and in particular in the exploration of planets such as Mars. VSLAM (*Visual Simultaneously Localization and Mapping*) has shown a promising performance for navigation and mapping in the absence of a priori knowledge. VSLAM uses images from stereo or monocular cameras to determine the coordinates of feature points as well as the location and attitude of the camera [1]. Swarms are being used to increase the robustness against hazards in the missions, and allow improving the efficiency of exploration significantly [2]. Swarms are composed of autonomous units, such as rovers, crawlers or quadrocopters, for example. Sensor fusion becomes more demanding in this context, since the sensors are attached to independently controlled platforms.

Due to constraints on payload size, weight, and costs, swarm-based VSLAM must typically rely on a single camera. The associated monocular es-

timation of the trajectory and map is then ambiguous by a scale factor. In a robotic swarm, radio-based communication is needed anyway, and also used for ranging [3]. The ranging measurements are obtained using RTD (*Round-Trip Delay*) estimation.

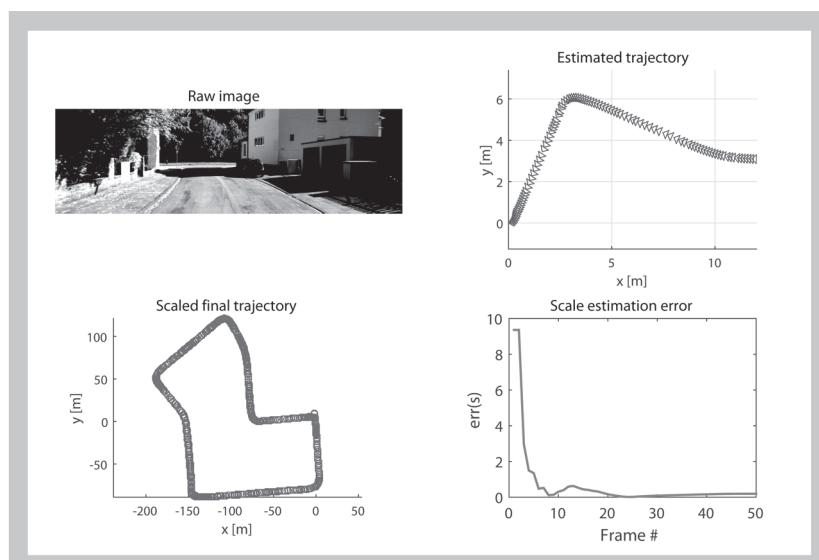
We propose to combine monocular VSLAM algorithms, e.g. [1], with the measurement of ranges between two swarm elements for determining the trajectory and its global scale.

Specifically, the trajectory of the monocular camera can be estimated with a scale ambiguity from the variation of the optical flows in the images. Since the distance between the two vehicles is a function of the vehicle position, the global scale of the trajectory, as well as the initial relative attitude between the two on-board monocular cameras can be determined. The trajectory and the global scale of the camera trajectory are estimated by a least-square optimization.

The approach does not depend on the method of ranging. It can be adapted without restrictions, from radio-frequency-based ranging to any other sources of ranging measurements.

Literature:

- [1] Raul, M.-A.; Montiel, J. M. M.; Tardós, J. D.: Orb-slam: a Versatile and Accurate Monocular Slam System. In: *IEEE Transactions on Robotics* vol. 31, no. 5, pp.1147-1163, May 2015
- [2] Sand, S.; Zhang, S.; Mühllegg, M.; Falconi, G.; Zhu, C.; Krüger, T.; Nowak, S.: Swarm Exploration and Navigation on Mars. In: *Proc. of Intl. Conf. on Loc. and GNSS (ICL-GNSS)*, Torino, Italy, June 2013
- [3] Zhang, S.; Sand, S.; Raulefs, R.; Staudinger, E.: Self-Organized Hybrid Channel Access Method for an Interleaved RTD-based Swarm Navigation System. In: *Proc. of Workshop on Positioning, Navigation and Comm.*, Dresden, Germany, March 2013



Scale and motion estimation using a monocular camera and sparse ranging measurements

Multi-GNSS Precise Point Positioning

Patrick Henkel



Die Trägerphasen der Navigations-satelliten können mit Millimeter-Ge nauigkeit verfolgt werden. Dies er möglicht eine millimeter-genaue Positionierung, erfordert aber die Auflösung von ganzzahligen Mehr deutigkeiten. Für eine zuverlässige Auflösung muss die reellwertige Schätzung ausreichend konvergiert sein. Dies kann bei eingeschränktem Satellitenempfang mit wenigen sicht baren Satelliten sehr lange dauern.

Die Verwendung der Signale von mehreren Satellitenkonstellationen kann die Konvergenzzeit erheblich reduzieren. GLONASS hat zurzeit neben GPS die meisten Satelliten und ist damit besonders attraktiv. Allerdings verwendet GLONASS eine FDMA-Übertragung, d.h. jeder Satellit sendet auf einer eigenen Trägerfrequenz. Damit ist die Ganzzahl ligkeit der Mehrdeutigkeiten der dif ferentiellen Trägerphasenmessungen nicht mehr gegeben.

Wir haben ein Verfahren für trä gerphasenbasierte Positionierung mit Multi-GNSS entwickelt, das eine gemeinsame GPS/ GLONASS-basierte Positionierung mit Auflösung der GPS und GLONASS-Mehrdeutigkeiten ermöglicht.

Carrier phase measurements enable positioning accuracies at millimeter level in satellite navigation. However, the periodicity of the carrier phases requires that the integer ambiguities are resolved. Double differenced (DD) measurements between a pair of receivers and a pair of satellites eliminate atmospheric errors, satellite orbital errors, clock errors and biases.

In GPS all satellite signals are modulated on the same carrier frequency. Thus, the integer property of the ambiguities is preserved after double differencing. GLONASS uses FDMA, i.e. every GLONASS satellite transmits on its own carrier frequencies. Consequently, the DD GLONASS ambiguities are in general *not* integer-valued. Additionally,

there are inter-frequency biases which do not cancel by double differencing and need to be estimated.

However, a DD real-valued GLO NASS ambiguity can be considered as a linear combination of a DD *integer-valued* ambiguity and a *common real-valued* single difference (SD) ambiguity. The common real-valued ambiguity has a very small wavelength of $\approx 65 \mu\text{m}$, which prevents any reliable ambiguity fixing. Moreover, the modeling of each DD GLO NASS ambiguity as a linear combination of two ambiguities implies a rank deficiency. Therefore, a parameter transformation is needed to obtain a full-rank system. We map one integer-valued DD ambiguity to the common real-valued SD ambiguity and re-adjust all other DD integer ambiguities. This parameter transformation depends on the wave lengths of DD and SD ambiguities and, thus, the re-adjusted DD ambiguities are not necessarily integer valued. Therefore, we introduce a second parameter transformation to ensure the integer property of the transformed ambiguities.

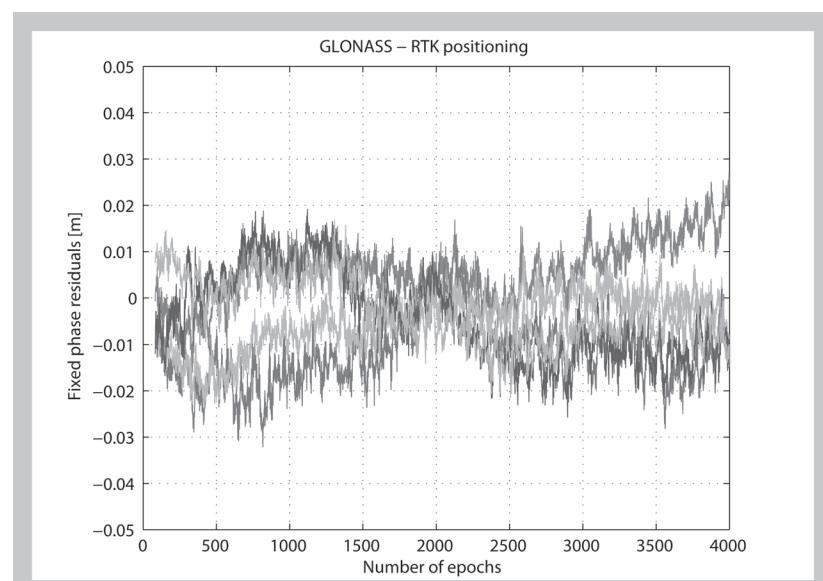
The parameter transformations are the basis for our Multi-GNSS RTK/ PPP positioning with Multi-GNSS ambiguity fixing. The position, veloc

ity, common SD real-valued GLO NASS ambiguity, integer-valued DD GPS and GLONASS ambiguities and a multipath parameter per satellite are determined in a Kalman filter. The integer-valued DD GPS and GLONASS ambiguities are treated as real-valued parameters in the Kalman filter. Subsequently, the float solution is mapped to an integer solution, and the position is readjusted accordingly.

We verified our method with real measurements from a multi-constellation GNSS receiver. The figure shows the residuals for all DD GLONASS measurements. Obviously, the residuals are less than 3 cm throughout the complete measurement period, which indicates a correct ambiguity fixing. The slight variation over time is caused by phase multipath

Literature:

Henkel, P.; Mittmann, U.; Iafrancesco, M.: Real-Time Kinematic Positioning with GPS and Glonass. In: *Proc. of European Signal Processing Conference*. Budapest, Hungary, Sept. 2016



Fixed phase residuals for GLONASS measurements of joint GPS/ GLONASS RTK positioning

Projects

- (1) Precise Point Positioning für Autonomes Fahren (PPP-AF)**, Sept. 2013 – Sept. 2016, funded by BMWi:

Real-time kinematic (RTK) positioning with low-cost GNSS receivers requires precise corrections of atmospheric delays, satellite clock and orbital errors and satellite phase and code biases. In this project, methods for the estimation of these errors with a network of geodetic reference stations were developed. The frequency-dependency of the satellite phase biases shall be analyzed with the 30 meter antenna in Weilheim.

- (2) Valles Marineris Explorer – Cooperative Swarm Navigation, Mission and Control (VaMEx - CoSMiC)**, Sept. 2015 – Sept. 2018, funded by BMWi:

Mars missions need a navigation system without satellites. Radio-based swarm navigation, visual navigation and laser scanners are attractive candidates. The institute's contribution in VaMEx CoSMiC includes the visual localization, the swarm navigation and the tight coupling of vision and ranging.

- (3) RELAGAL Relativistic Experiments with Galileo 5 and 6**, Sept. 2015 – Sep. 2017, funded by the BMWi

The aim of the project RELAGAL is to bound the difference of the measured redshift from the one predicted by the theory of relativity using measurements from two Galileo satellites in an elliptical orbit.

Journal Publications

Brack, A.: On Reliable Data-driven Partial GNSS Ambiguity Resolution. In: *GPS Solutions*, vol. 19, no. 3, DOI 10.1007/s10291-014-0401-9, July 2015

Giorgi, G.: Attitude Determination. In: *Encyclopedia of Geodesy*, edited by E.W. Grafarend, Earth Sciences Series, Springer, DOI: 10.1007/978-3-319-02370-0 2-1, 2016

Gabriele, G.; Lülf, M.; Günther, C.; Herrmann, S.; Kunst, D.; Finke, F.; Lämmerzahl, C.: Testing General Relativity using Galileo Satellite Signals. In: Proc. 2016 European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Sept. 2016

Giorgi, G.; Henkel, P.: Ionospheric Bias Detection in Carrier Phase-only Groundbased Augmentation Systems. In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* (TAES), vo. 51, no. 3, July 2015

Günther, C.: A Survey of Spoofing and Counter Measures. In: *Navigations*, vo. 61, no. 3, Sept. 2014

Henkel, P.: Tightly Coupled Precise Point Positioning and Attitude Determination. In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* (TAES), vo. 51, no. 4, Oct. 2015

Conference Publications

Brack, A.: Partial Ambiguity Resolution for Reliable GNSS Positioning – a Useful Tool? In: *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 2016

Giorgi, G.; Teunissen, J.P.G.: Multivariate GNSS Attitude Integrity: the Role of Affine Constraints. In: *Proc. of the VIII Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy*, Series International Association of Geodesy Symposia, vol. 142, 2015

Henkel, P.; Burger, P.: Multi-Sensor Fusion of GNSS Receivers, Inertial Sensors and Cameras for Precise and Reliable Positioning. In: *Proc. of Conference on Future Automotive Technology (COFAT)*, Fürstenfeldbruck, Germany, Apr. 2015

Henkel, P.; Hentati, H.: Reliable RTK Positioning with Tight Coupling of 6 Low-Cost Sensors. In: *Proc. of ION GNSS+*, Portland, OR, USA, Sept. 2016

Henkel, P.; Iafrancesco, M.; Sperl, A.: Precise Point Positioning with Multipath Estimation. In: *Proc. of ION/IEEE Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, Savannah, GA, USA, Apr. 2016

Henkel, P.; Mittmann, U.; Iafrancesco, M.: Real-Time Kinematic Positioning with GPS and GLONASS. In: *Proc. of 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Budapest, Hungary, Sept. 2016

Henkel, P.; Oku, N.: Cycle Slip Detection and Correction for Heading Determination with Low-Cost GPS/INS Receivers. In: *Proc. of the VIII Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy*, Series of International Association of Geodesy Symposia, vol. 142, 2015

Henkel, P.; Sperl, A.: Precise RTK Positioning with GPS/INS Tight Coupling and Multipath Estimation. In: *Proc. of ION International Technical Meeting (ITM)*, Monterey, CA, USA, Jan. 2016

Henkel, P.; Sperl, A.: Real-Time Kinematic Positioning of Unmanned Air Vehicles. In: *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, March 2016

Wen, Z.; Zhu, Y.; Henkel, P.: Estimation of Code Ionospheric Biases using Kriging Method. In: *Proc. of IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, March 2015

Zhu, C.; Bilgeri, S.; Günther, C.: Spatial Uncertainty Model of a Three-View RGB-D Camera System, Advances in Visual Computing. In: *12th Int. Symp. Visual Computing (ISVC)*/ Lecture Notes in Computer Science, Las Vegas, NE, USA, Dec. 2014

12 Sonstiges

12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

Gerhard Kramer:

- Co-Direktor des Studiengangs MSCE der Fakultät EI (seit 2010)
- Mitglied im *TUM Institute for Advanced Study Advisory Council* (seit 2011)
- Mitglied und Vorsitzender verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2011)
- Mitglied im *TUM Appointment and Tenure Board* (seit 2012)
- Mitglied im *TUM Awards Committee* (seit 2014)
- Mitglied der Task Force „EI nach Garching“ (2014)
- Vorsitzender der Gleichstellungskommission der Fakultät EI (2014-2016)
- Frauenbeauftragter der Fakultät EI (seit 2015)
- Mitglied im Bachelor-Prüfungsausschuss der Fakultät EI (seit 2016)
- Mentor, TUM Faculty Tenure Track Professorship (seit 2016)

Norbert Hanik:

- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse der Fakultät EI (seit 2005)
- Mitglied im Master-Prüfungsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Promotionsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- BAföG-Beauftragter der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Bachelor-Prüfungsausschuss der *School of Education* (seit 2005)
- Mitglied im Master-Prüfungsausschuss der *School of Education* (seit 2011)
- Vorsitzender des Koordinationsausschusses „Lehramt an Beruflichen Schulen“ der Fakultät EI (seit 2009)

Joachim Hagenauer:

- Vorstand des Internationalen Begegnungszentrums (IBZ) der Münchener Universitäten (seit 2005)
- Mitglied der Schiedsstelle der *TUM Graduate School* (seit 2011)
- Mitglied im wissenschaftlichen Beirat von *Munich Aerospace* (2011- 2016)
- Mitglied im Scientific Board der TUM „Research Opportunity Week“ (seit 2012)
- Mitglied im Auswahlausschuss „Scherer Gastprofessoren“ der TUM (seit 2013)

Hannes Bartz:

- Koordinator und Manager des Studiengangs *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE) der Fakultät EI (von 01/2011-09/2015)

- 12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung
- 12.2 Tätigkeit in Gremien/wissenschaftlichen Vereinigungen
- 12.3 Neuerungen in der Infrastruktur
- 12.4 LNTwww beim Übergang von Version 2 zu Version 3
- 12.5 NOMOR – die nächste Generation ist am Wachsen
- 12.6 Betriebsausflüge und Betriebsfeiern
- 12.7 Persönliches

Stefan Dierks

- Doktorandenvertreter des Graduiertenzentrums (FGC-EI) der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik (von 08/2014-07/2015)

12.2 Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen

Gerhard Kramer:

- Mitglied im *Board of Governors* der *IEEE Information Theory Society* (2009-2015)
- Fellow des *IEEE* (seit 2010)
- Mitglied im ITG-Fachausschuss 5.1: *Informations- und Systemtheorie* (seit 2011)
- Berater der *IEEE European and North American Schools of Information Theory* (seit 2011)
- Editor von *Foundations and Trends in Communications and Information Theory* (seit 2012)
- Mitglied des Kuratoriums der Eduard-Rhein-Stiftung (seit 2013)
- Berater der *IEEE Australian, East-Asian, and Indian Schools of Information Theory* (seit 2014)
- Mitglied im *IEEE Richard W. Hamming Medal Committee* (seit 2014)
- Mitglied in *IEEE Information Theory Society* Komitees: School (seit 2014), Constitution & Bylaws (2014-15), Nominations & Appointments (2014-15), Vice President Publications (2015)
- Mitglied in den Programmkomitees der IEEE Konferenzen ISIT (2015, 2016), ITW (2015, 2016), ISTC (2016), IZS (2016), IWCIT (2016), NetCod (2015), ISITA (2016), WCNC (2015, 2016), WSA (2016), IST (2016), CNS (2015, 2016), ICC-WPLS (2015), ICC-MASSAP (2015, 2016), ITG SCC (2016, 2017), BlackSeaCom (2015)
- Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAdW, seit 2015)
- Mitglied des BAdW-Forums „Technologie“ (seit 2016)
- Mitglied im Berufungsausschuss Digitale Übertragung und Signalverarbeitung der FAU (2016)
- General Co-Chair des *IEEE Int. Symp. Information Theory* (ISIT 2017)
- General Co-Chair des *IEEE Inf. Theory Workshop* (ITW 2017)

Norbert Hanik:

- Mitglied der ITG-Fachgruppe 5.3.1 „Simulation und Modellierung optischer Komponenten und Systeme“ (seit 1999)
- Mitglied im ITG-Fachausschuss 5.3 „Optische Systeme“ (seit 2015)
- Mitglied im Technischen Programmkomitee der *European Conference on Optical Communication – ECOC* (seit 2016)

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 und Mitglied des BAdW-Forums „Technologie“ (seit 2005)
- Mitglied im VDE Slaby Kreis (seit 2007)
- Mitglied des VDE Ausschusses „Ehrenring“ (seit 2010)

12.3 Neuerungen in der Infrastruktur

Günter Söder und Robert Schetterer

Wie in den Jahren zuvor war auch das letzte Jahr durch viele Baumaßnahmen geprägt. Von Seiten der TU-Verwaltung wurde entschieden, dass die Vorderfront unseres Gebäudes N4 eine neue Fassade bekommt und dass wir zudem aus Sicherheitsgründen eine neue Outdoor-Fluchttreppe benötigen (siehe Foto). In diesem Zusammenhang kann auch erwähnt werden, dass inzwischen der Umzug nach Garching beschlossen ist. Der LNT soll nach Abschluss des dritten Bauabschnitts sein neues Domizil in Garching beziehen und als Termin wird derzeit 2021/2022 genannt. Lassen wir uns überraschen.

Es gab aber auch LNT-interne Gründe für häufige Umräumarbeiten:

- Martin Kontny wird 2017 in seinen wohlverdienten Ruhestand gehen. Da seine Stelle nicht ersetzt wird, waren er und der dann einzige verbleibende Dauermitarbeiter Robert Schetterer bemüht, alles nicht mehr Zeitgemäße am LNT zu entsorgen.
- Im letzten Jahr hatte der LNT einen Personalhöchststand, so dass die Belegung der Assistentenräume permanent nachverdichtet werden musste.
- Für die neue Tenure-Track Professorin Antonia Wachter-Zeh und ihre Mitarbeiter mussten zum 01.10.16 drei Räume umgewidmet werden.

Gelungen ist diese Aktion leider nur, indem wir den seit 1997 bei uns

angesiedelten Studentenrechnerpool LNT-Eikon kündigten, das Mobilfunklabor aufgaben und hierin den Rechnerpool für unsere Bachelor- und Masterarbeiten unterbrachten. Positiv an dieser Umstellung ist, dass nun unsere Studenten zwei Räume belegen und die Anzahl der Studentenrechner verdoppelt wurde.

Der neue Systemadministrator Robert Schetterer (seit Februar 2015) hat die Infrastruktur unseres Rechnerpools erfolgreich vereinfacht. Die Strategie ist, dass möglichst viele der von uns benötigten Dienste an die Fakultät (EI-NAS) oder das Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) ausgelagert werden. Bisher wurde umgesetzt:

- Vollständige Umstellung der Windows-Rechner auf TUM-PC,
- Abschaltung der lokalen Fileserver, Totalmigration zum EI-NAS,
- Umzug aller internen Webserver zum LRZ,
- Migration von LNT-Wiki zum neuen TUM-Wiki.
- Einführung des EI-Installationssystems für Linux-Rechner,
- Migration zur neuen LRZ-Firewall pfSense.

Angeschafft wurden drei neue Simulationsrechner, Laptops und Bildschirme für die Mitarbeiter sowie ein neuer Beamer und leistungsfähige Drucker. Der WLAN-Empfang wurde im gesamten LNT-Bereich ausgebaut. Vorbereitet wurden

- der Umzug der LNT-Website zum TUM-Typo3,

- die Migration von LNTwww zu Mediawiki (siehe Kapitel 12.4).

Im Namen aller Nutzer unseres Rechnerverbundes danken wir den Systemadministratoren Robert Schetterer, Martin Kontny, Markus Stinner, Martin Lülf (NAV), Tobias Fehenger und Tasnád Kernetzky (beide LÜT) sowie Joschi Brauchle (bis Dezember 2015) herzlich für den großen Einsatz und die hervorragende Arbeit.



Neue Fluchttreppe für N4

12.4 LNTwww beim Übergang von Version 2 auf Version 3

Günter Söder

Unser E-Learning-Projekt LNTwww, ein *Lerntutorial für die Nachrichtentechnik im world wide web*, wurde im Herbst 2016 zu einem guten Abschluss gebracht. 2001 hatten mein Kollege Dr. Klaus Eichin und ich dieses Lerntutorial genau so geplant, wie es nun vorliegt. Wie die Grafik auf der nächsten Seite zeigt, beinhaltet LNTwww neun Fachbücher, die

eine virtuelle Lehrveranstaltung mit 23 Semesterwochenstunden (SWS) Vorlesung und 13 SWS Übungen ergeben. Wesentlicher Bestandteil von LNTwww sind die mehr als 600 Aufgaben mit ausführlichen Musterlösungen sowie etwa 90 interaktive multimediale Elemente.

Die Fertigstellung war eigentlich für 2011 geplant, dem Ende unse-

rer aktiven Zeit am LNT. Aber wie bei vielen Großprojekten (Berliner Flughafen, Elbphilharmonie) haben auch wir unsere Zeitplanung um 50% überzogen. Trotzdem sind wir stolz darauf, was wir und unsere Studenten (Martin Winkler, Yven Winter und viele andere) erreicht haben.

Aus der Überschrift geht bereits hervor, dass die Arbeiten am

12

Sonstiges

LNTwww trotzdem weiter gehen. Es gab Bedenken unserer Systemadministratoren, dass viele der bei der Realisierung des LNTwww-Autorensystems Anfang der 2000er Jahre verwendeten Basis-Tools heutigen Sicherheitsstandards nicht ge-

nügen und zudem einen hohen Pflegeaufwand erfordern.

Es gab aber auch Kommentare von Studierenden, dass unser LNTwww etwas in die Jahre gekommen ist und altmodisch daherkommt, so dass es trotz guter Inhalte von heutigen Studenten nur ungern eingesetzt wird. Diese Einschätzung hat mich sehr getroffen; zunächst sprach ich den Kritikern jede Kompetenz ab. Aber dann machte ich mir klar, wie ich vor 50 Jahren reagiert hätte, wenn mir jemand aus der Großvatergeneration hätte sagen wollen, was zeitgemäß ist.

Die nun entstehende Version 3 baut auf einem Standard-Wiki auf, was jeder Student kennt, und ermöglicht

auch den Zugriff auf LNTwww von einem Smartphone. Am Inhalt wird sich vorerst nichts ändern.

Derzeit wird das alte LNTwww (Version 2) auf die Version 3 umgesetzt. Ich bedanke mich herzlich bei Joschi Brauchle und insbesondere bei Markus Stinner und seinem Studenten-Team für das Engagement. Bis Ende des Jahres soll die Umsetzung in erster Stufe abgeschlossen sein. Dann beginnt meine Feinarbeit, die sicher wieder länger dauert.

Ich hoffe, dass für eine gewisse Zeit beide Versionen parallel verfügbar sein werden. Schauen Sie einfach mal nach unter der URL www.LNTwww.de.

Signaldarstellung

Behandelt wird die mathematische Beschreibung von Nachrichtensignalen im Zeit- und Frequenzbereich:

Fourierreihe und Fouriertransformation für periodische bzw. aperiodische TP- und BP-Signale, zeitdiskrete Signaldarstellung. Umfang: 2V + 1Ü.

Lineare zeitinvariante Systeme

Aufbauend auf Buch 1 wird der Einfluss eines Filters auf deterministische Signale mathematisch erfasst. Behandelt werden Verzerrungen, die Eigenschaften elektrischer Leitungen und kausaler Systeme sowie die Laplace-Transformation. Umfang: 2V + 1Ü.

Stochastische Signaltheorie

Das Buch behandelt stochastische Signale und deren Modellierung: Wahrscheinlichkeitsrechnung, diskrete und kontinuierliche Zufallsgrößen, statistische Bindungen, Einfluss eines Filters auf stochastische Signale. Umfang: 3V + 2Ü.

Informationstheorie

Im Mittelpunkt stehen die Shannonsche Informationstheorie für diskrete und kontinuierliche Quellen und seine Theoreme für Quellen- und Kanalcodierung. Kanalcodes fügen Redundanz hinzu, Quellencodes entfernen nicht nutzbare Redundanz. Umfang: 2V + 1Ü.

Modulationsverfahren

Dieses Buch beschreibt die wesentlichen Grundlagen der analogen und der digitalen Übertragungstechnik: Analoge (AM, PM, FM) und digitale (ASK, PSK, FSK, QAM, ...) Modulation, Vielfachzugriffsverfahren (CDMA, OFDM). Umfang: 3V + 2Ü.

Digitalsignalübertragung

Erläutert wird die Berechnung der Fehlerwahrscheinlichkeit, das entscheidende Qualitätsmerkmal digitaler Systeme. Berücksichtigt werden Leitungscodierung und Impulsinterferenzen. Abschließend werden hier Digitale Kanalmodelle behandelt. Umfang: 3V + 2Ü.

Mobile Kommunikation

Zeitvariante Kanäle (Sender und/oder Empfänger bewegen sich): nichtfrequenzselektives Fading (Rayleigh, Rice), frequenzselektives Fading (Mehrwegeempfang). Kurzdarstellung von GSM (2G) und UMTS (3G), 4G-System LTE. Umfang: 2V + 1Ü.

Kanalcodierung

Kanalcodierung umfasst Verfahren zur Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Beschrieben werden lineare Blockcodes, Reed-Solomon-Codes, dazu Faltungs- und Turbocodes sowie deren (eventuell iterative) Decodierung. Umfang: 3V + 2Ü.

Beispiele von Nachrichtensystemen

Das letzte Fachbuch behandelt kommerziell erfolgreiche Nachrichtensysteme für das Festnetz (ISDN, DSL) und den Mobilfunk (GSM, UMTS) mit Bezug zu den theoretischen Grundlagen in den vorherigen acht Büchern. Umfang: 3V + 1Ü.

Biografien und Bibliographien

Das letzte Buch beinhaltet Biographien bedeutender Naturwissenschaftler und Ingenieure sowie eine Zusammenstellung geeigneter Fachliteratur für die einzelnen Bücher. Vorgestellt werden zudem die Verantwortlichen für LNTwww und alle Beteiligten.

12.5 NOMOR – die nächste Generation ist am Wachsen

Eiko Seidel und Ingo Viering, Nomor Research GmbH, München

Two years ago we reported a business reset after setting up and selling a product business. Back to our roots in consultancy services, we can report today about two successful years in diverse areas of mobile communications and multi-media, with diverse customers, and with a strong focus on the generation “5G”.

Unser Bericht von 2014 über die 2004 vom LNT ausgegründete Nomor Research stand unter dem Motto „Back to the Roots“. Wir berichteten, wie wir uns nach einem lehrreichen Ausflug ins Produktgeschäft auf unsere Wurzeln besonnen haben, und uns wieder dem widmen, was wir am besten können: technische Unterstützung an der Speerspitze der Forschung.

Heute können wir berichten, dass diese Roots tatsächlich Neues hervorgebracht haben. Nach der Veräußerung des Produktgeschäfts können wir wieder ein gesundes Wachstum vermelden, sowohl bei der Anzahl der Mitarbeiter (derzeit 13 Ingenieure) als auch beim Umsatz. Nomor hat inzwischen viele verschiedene Standbeine und damit eine bessere Diversifikation.

Die Zusammenarbeit mit unserem Hauptkunden Nokia (mittlerweile Nokia Bell Labs) ist nach wie vor stabil; wir konnten nach langer Zeit in diesem Bereich sogar wieder einen Anstieg erreichen. Thematisch dreht sich an dieser Stelle praktisch alles um die nächste Generation der Mobilfunksysteme, kurz „5G“. Nachdem inzwischen die Standardisierung bereits auf vollen Touren läuft, konkretisiert sich die Aufgabenstellung nun mehr und mehr. Das Thema „5G“ dominiert uns heute auch außerhalb der Nokia-Projekte. Insgesamt wandern mittlerweile mehr als 70% unserer Aufwände in die 5G-Projekte.

Fortschritte gibt es auch bei unserem Ziel, Kunden außerhalb der klassischen Mobilfunkbranche zu akquirieren. Hier sind wir besonders attraktiv, weil wir schnell, unkompliziert und neutral helfen können.

Vor allem in der Autoindustrie und im Bereich „Public Safety“ gelingt es uns immer wieder, Projekte an Land zu ziehen, sei es klassisches Beratungsgeschäft, Training, Standardisierung oder Simulation.

Ein wichtiges Standbein ist auch die Patentevaluierung. Unsere langjährige Erfahrung in Forschung und Standardisierung gleichermaßen ist eine attraktive Kombination, auf die mittlerweile einige Kanzleien gerne und häufig zurückgreifen.

Ganz besonders freut es uns, dass wir auch nach dem bedauerlichen Ausscheiden des Mit-Gründers Thomas Stockhammer vor zwei Jahren das Multimedia-Geschäft nicht nur stabilisieren konnten, sondern (zusätzlich zu stabilen Langzeitprojekten) auch neue Aktivitäten initiiert haben. So arbeiten wir derzeit für das *DASH Industrial Forum*, für das wir beispielsweise Testvektoren und Validierungstools bereitstellen, was unsere DASH-Kompetenz nachweislich dokumentiert. Auch sind wir Konsortialführer in einem großen ESA-Projekt zum Thema „Video-Übertragung über Satelliten“.

Alle diese Aktivitäten werden flankiert durch das Mitwirken bei öffentlich geförderten Projekten. Diese sind für uns deshalb in erster Linie wichtig, um bei neuen Themen am Ball zu bleiben, und gleichzeitig Kontakt zu den wichtigen Playern zu halten. So sind wir aktuell Partner im EU-Projekt *5GNORMA*, das Architektur-Flaggschiffprojekt Europas auf dem Gebiet „5G“ innerhalb des Horizon 2020 Programms (Phase 1).

Leider können wir nicht bei allen öffentlichen Projekten mitwirken, zu denen wir eingeladen werden. Viele interessante Projekte mussten wir in jüngster Vergangenheit aus Kapazitätsgründen absagen. Nichtsdestotrotz wollen wir natürlich auch in Zukunft einen gewissen Anteil an solchen Projekten unserem Portfolio beimischen. Wir sind sehr zuverlässig, auch in der Phase 2 von H2020 (etwa ab Mitte 2017) angemessen vertreten zu sein.



Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für uns als forschungsorientiertes Unternehmen der Umstieg auf eine neue Mobilfunkgeneration neue Blüten treibt und wir den Luxus haben, uns über eine permanente Auslastung zu beklagen, die wenig Zeit für andere Aktivitäten wie Marketing mit einem neuen Web-Auftritt oder die Verfolgung neuer Produktideen lässt. Auf der anderen Seite erfüllt es uns mit einem gewissen Stolz, wenn bekannte Unternehmen auf Nomor Research zukommen, die der Meinung sind, dass wir seit mehr als einer Dekade in diesem Gebiet eine herausragende Arbeit leisten.

Nach wie vor ist die Zusammenarbeit mit der TU München für uns eine weitere wichtige Zutat. Die angespannte Wohnungssituation in München erschwert den Einsatz von Nicht-Münchner Studenten, so dass wir Praktikanten, Diplomanden und Werkstudenten fast nur noch aus der TUM rekrutieren. Dabei hilft natürlich die Vorlesung *System Aspects in Communications*, die Ingo Viering seit fast einem Jahrzehnt an der TUM hält. In Zukunft werden mehr und mehr 5G-Aspekte in die Vorlesung einfließen.

Alles in allem ist es schön zu beobachten, dass eine Mischung aus hoch-interessanten Themen und einem hoch-motivierten, hoch-effizienten und hoch-kompetenten Team zu einem Rekordjahr 2016 führen wird! Es hat uns letztes Jahr auch sehr gefreut, dass es mit Cadami eine weitere TUM-Ausgründung gab, der wir vielleicht mit unserem Know-How ein bisschen helfen können.

Die nächste Mobilfunkgeneration bietet sicher wieder Möglichkeiten für die nächste Generation von Start-ups, die aus der TU München hervorgehen. Bitte mehr davon, es kann sich lohnen!

12.6 Betriebsausflüge und Betriebsfeiern

Günter Söder

1977 hat Professor Hans Marko einen Wanderpokal gestiftet, der von Jahr zu Jahr an eine Zweier- oder Dreiergruppe neuerer LNT-Mitarbeiter weitergegeben wurde. Diese so genannten Lordkübelbewahrer hatten dann die Aufgabe, die nächste Weihnachtsfeier am Lehrstuhl und den darauf folgenden Betriebsausflug zu organisieren.

Diese Tradition wird auch am heutigen LNT noch fortgeführt. Allerdings sind nun die Organisationsteams entsprechend der Mitarbeiterzahl größer. Die Weihnachtsfeier heißt inzwischen Xmas Party. Der Name „Betriebsausflug“ wurde beibehalten, aber dieser beinhaltet nun immer eine Exkursion als wissenschaftliche Komponente.



Xmas Party 2014



Lars Palzer beim Dart-Wettbewerb

Organisationsteam 2014/2015:
Georg Böcherer, Tobias Fehnberger, Yingkan Chen und Chen Zhu

LNT/NAV-Weihnachtsfeier 2014
am 18.12.2014:

- Glühwein, Fassbier, Weihnachtssessen
- Jahresrückblick, Quiz, Dart und Tischtennis

Betriebsausflug 2015 am 11.01.2016:

- Vorträge und Laborführungen bei der Fraunhofer EMFT in München
- Abendessen, anschließend Bowling

Organisationsteam 2015/2016:
Rana Ali Amjad, Andreas Brack, Onur Günlü, Ginni Khanna und Andrei Nedelcu

LNT-NAV Christmas Party 2015
am 11.12.2015:

- Mulled Wine, Draft Beer, Christmas Dinner
- 2015 in a Nutshell, Tabletop Soccer

Betriebsausflug 2016 am 04.11.2016:

- Vorträge und Laborführungen bei BMW
- Laser Tag Game, Abendessen im Königlichen Hirschgarten



Gemeinsame Exkursion mit dem Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik (LTI) bei der Fraunhofer EMFT in München

12.7 Persönliches

Günter Söder

Im letzten Kapitel unseres Tätigkeitsberichtes berichten wir nun über persönliche Ereignisse – natürlich nur positive – unserer Professoren und der derzeitigen oder ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, nämlich

- runde Geburtstage,
- Hochzeiten,
- Geburten.



Wir beginnen diese Rubrik mit den runden Geburtstagen, wobei wir zuerst den Begriff „rund“ definieren müssen. Wir nennen hier all diejenigen, die im Berichtszeitraum 10/2014–09/2016 (oder kurz danach) das L -te Lebensjahr vollendet haben, wenn $L = 5 \cdot l$ gilt und $l \geq 10$ keine Primzahl ist.

90. Geburtstag:

Prof. (em.) Dr.-Ing. **Hans Marko**, Lehrstuhlinhaber 1962–1993.

75. Geburtstag:

Prof. (i.R.) Dr.-Ing. **Joachim Hagenauer**, Lehrstuhlinhaber 1993–2006,
Prof. (i.R.) Dr.-Ing. **Gert Hauske**, insgesamt am LNT von 1965–2007.

70. Geburtstag:

Dr.-Ing. **Klaus Eichin**, Akad.-Dir. (i.R.), am LNT von 1972–2011,
Dr.-Ing. **Walter Hauser**, Assistent am LNT von 1972–1979,
Prof. Dr.-Ing. **Günter Söder**, Akad.-Dir. (i.R.), am LNT von 1974–2011.

60. Geburtstag:

Prof. Dr.-Ing. **Richard Bamler**, Assistent am LNT von 1979–1989,
Prof. Dr.-Ing. **Christoph Günther**, Lehrstuhlinhaber von NAV,
Prof. Dr.-Ing. **Reimar Lenz**, insgesamt am LNT von 1980–2011,
Dr.-Ing. **Martin Maier**, Assistent am LNT von 1982–1990, jetzt LKN,
Nicole Rossmann, Verwaltungsangestellte am LNT seit 2003.

50. Geburtstag:

Robert Schetterer, Systemadministrator am LNT seit 2015.

Sicher haben wir nicht alle Jubilare erfasst und einige von denen, die wir erfasst hatten, wollten nicht genannt werden. Wir gratulieren allen genannten und ungenannten Geburtstagskindern gleichermaßen ganz herzlich!

Über das Geburtstagskolloquium zu Ehren von Professor Hans Marko wird auf Seite 98 berichtet. Hier noch Fotos von LNT-internen Geburtstagsfeiern, jeweils mit dem Gratulanten Gerhard Kramer.



Robert Schetterer



Nicole Rossmann und Günter Söder



Johanna und Joachim Hagenauer

12 Sonstiges

Für den Berichtszeitraum sind folgende Eheschließungen von derzeitigen und ehemaligen Mitarbeitern zu vermelden:

- 03/2015: **Sophia Engelhardt & Tasnád Kernetzky** (LÜT),
- 09/2015: **Anna-Sophie Staudacher & Markus Jäger**
(LNT, nun Staudacher),
- 10/2015: **Christina Hausmann & Michael Heindlmaier** (früher LNT),
- 10/2015: **Anna Prinz & Tobias Schneider** (LNT, nun Prinz),
- 05/2016: **Sophie-Charlotte Köhn & Tobias Fehenberger** (LÜT),
- 10/2016: **Andrea Grigorescu** (LTI) & **Georg Böcherer** (LNT).



Andrea & Georg

Wir gratulieren herzlich und wünschen allen Paaren eine fantastische Zukunft.

Wir beenden diesen Tätigkeitsbericht mit den Neuzugängen bei „lnt“ und „lüt“, den Kleinsten von LNT bzw. LÜT:

- 12/2014 **Jannik** – sein Vater Stefan Dierks ist seit 2011 Mitarbeiter am LNT und wird in Kürze seine Dissertation abschließen.
- 09/2015 **Martha** – ihr Vater Stephan Hellerbrand arbeitete von 2005-2010 beim LÜT und hat 2014 bei Prof. Hanik promoviert.
- 02/2016 **Gabriel Johannes** – seine Mutter Elli Oberleithner promoviert bei Prof. Hanik; sie ist derzeit in Mutterschutz.
- 03/2016 **Clara Emilia** – ihre Eltern Johanna Weindl und Bernhard Göbel haben am LNT (2008) bzw. LÜT (2010) promoviert.
- 07/2016 **Carl Oscar** – sein Vater Oscar Gaete Jamett war von 2007-2011 LÜT-Mitarbeiter und hat 2014 bei Prof. Hanik promoviert.
- 09/2016 **Julia** – ihr Vater Michael Heindlmaier hat 2015 bei Prof. Kramer promoviert; ihre Schwester Theresia ist inzwischen 2 Jahre alt.

Wir wünschen allen Neugeborenen eine glückliche Kindheit & Jugendzeit und trotz der derzeit etwas verrückten Welt Aussicht auf ein friedliches Leben.

Vielelleicht leistet zum Ende der Kramer-Ära eines der drei Mädchen oder der drei Jungs ihren/seinen Beitrag, die dann 137-jährige Erfolgsgeschichte des LNT weiterzuschreiben. Wie auch im Grußwort von Gerhard Kramer verstehen wir auch hier unter „LNT“ unsere gesamte Lehr- und Forschungseinheit einschließlich COD, LÜT und NAV.



Jannik mit Stefan



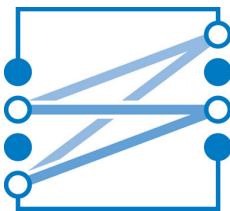
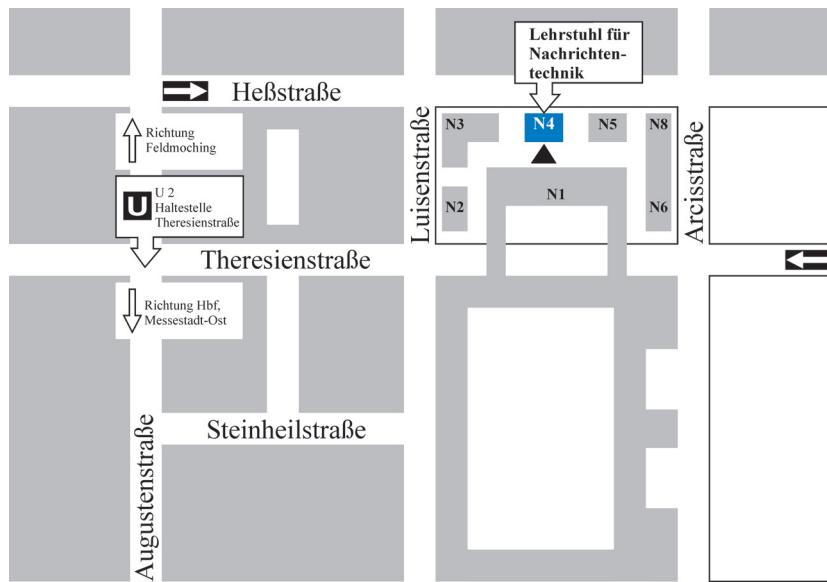
Gabriel Johannes mit Elli und Tobias



Clara Emilia mit Johanna und Bernhard



Carl Oscar mit Oscar sen.



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
URL: <http://www.LNT.ei.tum.de>