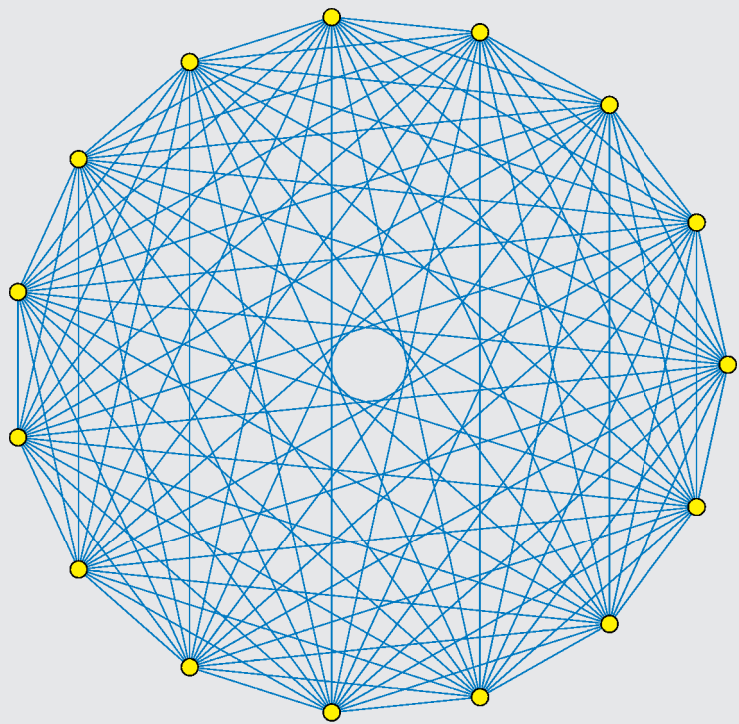


Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
Prof. Dr. Ralf Kötter

Tätigkeitsbericht

1.10.2006–30.9.2008



Technische Universität München

Technische Universität München
Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
Prof. Dr. Ralf Kötter

Tätigkeitsbericht

1.10.2006–30.9.2008

München 2008

Auf der Frontseite ist ein Spezialfall eines so genannten *Graßmann-Graphen* abgebildet. Diese finden bereits seit Längerem Anwendung in der Mathematik und wurden vor kurzem auch in die Netzcodierung eingeführt. Sie dienen dort der Visualisierung von Eigenschaften einer neuartigen Klasse von Codes. Ein Novum dieser Codeklasse ist, dass Information nicht wie in der klassischen Codierungstheorie mittels Vektoren dargestellt wird, sondern anhand von *Unterräumen eines Vektorraums*, wobei die vom Sender in das Netz injizierten Pakete die Basisvektoren der entsprechenden Unterräume sind.

Die Knoten des von Tobias Lutz ausgewählten Graphen repräsentieren alle dreidimensionalen Unterräume eines vierdimensionalen Vektorraums. Der zugrunde liegende Zahlenkörper ist binär. Zwei Knoten eines Graßmann-Graphen sind im Allgemeinen *adjazent*, falls die mit ihnen assoziierten Unterräume einen Schnittraum konstanter Dimension aufweisen. Im vorliegenden Fall sind die Schnitträume eindimensional und es resultiert ein vollständig vermaschter Graph: Von jedem der 15 Knoten gehen 14 Linien ab. Durch Anwendung einer geeigneten Metrik lässt sich leicht zeigen, dass adjazente Knoten stets eine Distanz von zwei aufweisen. Somit ist der dargestellte Code bzw. jede Untermenge davon nicht zur Korrektur von fehlerhaften Dimensionen geeignet, die durch vorsätzliches Injizieren von Fehlerpaketen bzw. durch eine Verringerung der minimalen Trennkapazität des Netzes entstehen könnten. Eine Fehlerkorrektur auf der Basis eines *Minimum-Distance-Decoders* ist in Analogie zur klassischen Codierungstheorie erst ab einer Mindestdistanz von drei möglich.

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

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

Herausgeber:

Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
Institut für Informations- und Kommunikationstechnik
Technische Universität München
Arcisstr. 21, D-80290 München
Tel.: (+49) 89 28 92 34 66
Fax: (+49) 89 28 92 34 90
E-mail: ralf.koetter@tum.de
URL: <http://www.LNT.ei.tum.de>

Redaktion:

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

Satz:

Leo Hausleiter, M.A.
Clemensstr. 122, D-80796 München
Tel.: (+49) 178-7218238
E-mail: hausleiter@freenet.de

Druck:

printoffensive GmbH
Friedenstraße 4, 81671 München

Auflage: 500 Stück



Inhalt

1	Vorwort	1
2	Personelles	3
2.1	Wissenschaftliches Personal	3
2.2	Lehrbeauftragte und Honorarprofessoren	6
2.3	Externe Doktoranden	6
2.4	Gastwissenschaftler	6
2.5	Mitarbeiter in den Werkstätten	7
2.6	Mitarbeiterinnen im Büro und in der Verwaltung	7
2.7	Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte	7
2.8	Ehrungen und Jubiläen	8
2.9	Alumni-Nachrichten	9
3	Lehrveranstaltungen	11
3.1	Einige allgemeine Bemerkungen zur Lehre	11
3.2	LNT-Veranstaltungen für EI und MSCE	12
3.3	LÜT-Veranstaltungen für EI und MSCE	15
3.4	Studiengang Lehramt an beruflichen Schulen (LB)	16
3.5	Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme	17
3.6	Seminar on Topics in Communications Engineering	19
4	Diplomarbeiten, Master Theses, Studienarbeiten	23
4.1	Diplomarbeiten (EI)	23
4.2	Master Theses (EI)	24
4.3	Master Theses (MSCE)	25
4.4	Diplomarbeiten/Master Theses anderer Hochschulen	26
4.5	Diplomarbeiten für die Studiengänge LB und DBP	26
4.6	Bachelor- und Studienarbeiten	26
5	Dissertationen	29



Inhalt

6	Arbeitsgebiete	43
7	Extern geförderte Prokjekte	59
8	Veröffentlichungen, Patente, Vorträge	67
8.1	Bücher und Buchbeiträge	67
8.2	Zeitschriftenbeiträge	68
8.3	Beiträge in Tagungsbänden	69
8.4	Vorträge und Präsentationen	73
9	Veranstaltungen	77
9.1	Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1: 100 Gbit/s-Ethernet	77
9.2	Exkursion zur Sendeanlage Hühnerberg des BR	80
9.3	Erstes Projekttreffen der WPR.5 von NEWCOM++	81
9.4	Verleihung des Vodafone-Innovationspreises an Prof. Kötter	82
9.5	Zweites Projekttreffen von N-CRAVE, WPR.5 am LNT	84
9.6	Exkursion zur Firma ADVA Optical Networking, Meiningen	85
9.7	Graduierungsfeier zum Anlass „10 Jahre MSCE“	86
10	Internationale Beziehungen	91
10.1	Austauschprogramme	91
10.2	Forschungsaufenthalte von Angehörigen des LNT	92
10.3	Vorträge von Gästen	96
11	Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation	97
12	Sonstiges	105
12.1	Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung	105
12.2	Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen	106
12.3	Neuerungen in der Infrastruktur	107
12.4	Nomor Research – lebe Visionen, erlebe die Zukunft	108
12.5	Feste – Feiern	109

1 Vorwort

Liebe Freunde, Partner und Mitarbeiter des
Lehrstuhls für Nachrichtentechnik,

Eines der Ereignisse, die den Zeitablauf am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) bestimmen, ist die Erstellung des Institutsberichtes alle zwei Jahre. 2006 hatte ich als designierter Nachfolger von Prof. Hagenauer schon die Möglichkeit zu einigen Beiträgen im letzten Bericht. Jetzt ist eine gute Gelegenheit, die beiden so schnell vergangenen Jahre in München und die Erwartungen, die ich hatte, bevor ich hierher kam, zu reflektieren.

Ich erinnere mich noch lebhaft, als ich meine Vorstellungen als zukünftiger Chef in einem Coffee-Shop in Illinois zu Papier brachte. Mir war klar, dass mit der Führung des LNT eine ziemlich große Aufgabe auf mich warten würde, aber auch persönliche Fragen beschäftigten mich: Wie würde es sein, nach 17 Jahren wieder nach Deutschland, also „nach Hause“ zu kommen? Wie würde meine Familie den Übergang bewältigen und wie würde ich in das deutsche akademische System passen, nachdem ich zuerst in das schwedische und dann in das anglo-amerikanische akademische System eingebunden war?

Heute bin ich mit Blick auf den ersten Tätigkeitsbericht unter meiner Leitung sehr glücklich, dass meine Familie und ich mit der Entscheidung für München die richtige Wahl getroffen haben. Besonders angetan bin ich von der Dynamik und Lebendigkeit des Lehrstuhls für Nach-

richtentechnik. So konnten wir im Berichtszeitraum eine beträchtliche Summe an Drittmitteln erwirtschaften und dadurch die Anzahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter auf eine angenehme Größe steigern, die nach meiner Meinung eine gute Balance zwischen der Forschungsarbeit und den administrativen Aufgaben am Lehrstuhl erlaubt.

Es war mir möglich, eine Reihe von amerikanischen Projekten mit in mein neues akademisches Zuhause, die Technische Universität München, mitzunehmen, und wir sind stolz, Forschungsverträge mit bedeutenden Forschungseinrichtungen wie dem Massachusetts Institut of Technology und der Stanford University zu haben. Wie ich bereits im Vorwort zum Bericht 2006 sagte, hat der LNT selbstverständlich seinen Platz in der internationalen Forschungsszene, den wir dynamisch und in enger Zusammenarbeit mit unseren Kooperationspartnern behaupten müssen. Ich denke, ich bin im Einklang mit den Traditionen meiner Vorgänger, die das Institut die letzten 50 Jahre geprägt haben (siehe Foto auf der nächsten Seite).

Einen Großteil unserer Aufgaben in Forschung und Lehre bewältigen die wissenschaftlichen Mitarbeiter. Deren Verpflichtungen und der damit verbundene Aufwand gehen deutlich über die bloße Forschungsarbeit hinaus, die amerikanische PhD-Studenten zu erledigen haben. Die Kom-

petenz und Selbständigkeit, mit der die Assistenten ihre Forschung und die vielfältigen anderen Aufgaben organisieren, sind wichtige Erfahrungen. Zusammen mit einer notwendigen guten fachlichen Ausbildung und einem aktiven, internationalen Austausch wird so das Beste für unsere Doktoranden erreicht.

Nach zwei Jahren als Institutsleiter möchte ich auch die Arbeit der nichtwissenschaftlichen Mitarbeiter würdigen. Einfach gesagt: Ich habe den LNT als einen Ort erfahren, an dem die Mitarbeiter ihre Arbeit mögen und gerne zusammenarbeiten. Ich bin mir sicher, dass eine effektive Organisation und gute Arbeit nur an einem Arbeitsplatz möglich ist, an dem Verantwortung und gegenseitige Hilfe in der Zusammenarbeit das Normale sind. Ich werde diese Atmosphäre schützen und verbessern, wo immer ich kann.

Schließen möchte ich mit einer persönlichen Bemerkung. Es ist kein Geheimnis, dass ich, seitdem ich in München bin, mit großen gesundheitlichen Problemen zu kämpfen habe. Nur durch die außergewöhnliche und enorme Unterstützung, die ich durchwegs erfahren habe, konnte ich vieles bewältigen. Ich möchte Ihnen allen – den Mitarbeitern am LNT, den Kollegen in der Fakultät, der Verwaltung, den Studenten und unseren Forschungspartnern – für alle Ihre Hilfe und Unterstützung herzlich danken.

1 Vorwort

Time at an institute like the Institute for Communications Engineering is marked in several ways, representing both internal and external cycles. One such event is the biennial production of the Institute report. Two years ago, as the incoming Head of the Institute, I was given the opportunity to make a few statements for the 2006 report. Now, already two years have passed – surprisingly quickly I may add, and it seems to be a natural opportunity to reflect both on my first two years in Munich and on the expectations that I had when I arrived two years ago. I remember rather vividly as incoming head writing my statements in a coffee shop in Illinois. It was clear to me that a rather large task was awaiting in leading the Institute but also personal questions were on my mind. Having been away from Germany for 17 years, I asked myself

- How would I experience “coming home”?
- How would my family take to the transition?
- How would I fit in with the German academic system after having been submerged in first the Swedish and then the Anglo-American systems?

Two years later and looking at the first Institute report that reports on my headship, I am very happy that my family and I made the decision to move to Munich the way we did and I am exceptionally proud to see the liveliness of the “Lehrstuhl für Nachrichtentechnik” (LNT). We managed to attract a sizeable portion of external funding during this

Dear Associates and Friends of the LNT,

time, bringing the current size of the research group into a comfortable zone where, I believe, a good balance between research time and administrative duties can be found for the scientific employees of the institute. I was able to bring a number of American projects to my new academic home at the TU München and we are now proud to be research subcontractors for some major research institutions such as the Massachusetts Institute of Technology and Stanford University. As I stated



Prof. Ralf Kötter (seit 2006), Prof. Joachim Hagenauer (1993–2006) und Prof. Hans Marko (1962–1993)

in the introduction to the Institute report of 2006: Being part of the international research scene is the natural place for our Institute which we can vigorously maintain through these collaborations. I believe I find myself in line with the traditions and the spirit that have determined the Institute for the best part of the last 50 years. A side remark to the picture on this page may be allowed.

At this juncture, it is appropriate to acknowledge both the scientific and the non-scientific staff of the Institute. The scientific employees are really the core work force that keeps the scientific and teaching

obligations and opportunities well taken care of. As such, their duties and efforts go well beyond the mere research work that can burden their American graduate student counterpart. The competence and self-reliance with which the assistants organize their research work and the duties that need to be done on behalf of the Institute are a significant component of the doctorate education, which I learned to appreciate as one of the highlights of the education leading to a Ph.D. Nevertheless, I believe that this needs to be paired with the notion of a formal graduate education and an active international exchange in order to bring out the best in our students.

After two years as Head of the Institute I also would like to acknowledge the work of the non-scientific staff. Simply put, I experienced the LNT as a place where people enjoy their work and like to work together. I truly believe that the spirit of a workplace where mutual helping and taking of complete responsibility is the normal mode of operation becomes the hallmark of effective organizations. I will protect and enhance this spirit wherever I can.

Finally, I would like to end on a personal note. It is no secret that I encountered some difficult health issues after moving to Munich. Being able to cope with those in a productive way has only been possible through the extraordinary and tremendous support that I have found throughout, not only at the Institute but also among colleagues, administration, staff and students at the TUM and at our partner institutions. I would like to extend a heartfelt thank-you for all your help and support.

Ralf Kötter

2

Personelles

2.1 Wissenschaftliches Personal

Prof. Dr. Ralf Kötter (seit 01.10.2006)

Leitung des Lehrstuhls

Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik, Extraordinarius

Fachgebiet „Leitungsgebundene Übertragungstechnik“

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

Lehrstuhlleitung von 1993 bis 2006

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

Lehrstuhlleitung von 1962 bis 1993

Dr.-Ing. Klaus Eichin, Akademischer Direktor, Verwaltungsleiter

Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Söder, Akademischer Direktor

Dipl.-Ing., MSc. Joschi Brauchle, Akad. Rat. a. Z. (seit 01.11.2007)

Dipl.-Ing. Florian Breyer, wiss. Angestellter

M.Sc. Leonardo Didier Coelho, wiss. Angestellter

Dipl.-Ing. Janis Dingel, wiss. Angestellter

Dipl.-Ing. Nicolas Dütsch, Akad. Rat. a. Z.

M.Sc. Oscar Jamett Gaete, wiss. Angestellter (seit 01.07.2007)

Dipl.-Ing. Bernhard Göbel, wiss. Assistent

M.Sc. Pavol Hanus, wiss. Assistent

Dipl.-Ing. Christoph Hausl, Akad. Rat. a. Z.

Dipl.-Ing. Stephan Hellerbrand, wiss. Angestellter

Dipl.-Ing. Jie Hou, wiss. Angestellter (seit 01.09.2008)

Dr. Vladimir Kuryshhev, ständiger Gast des MPI (seit 01.07.2007)

Dipl.-Ing. Tobias Lutz, wiss. Angestellter (seit 01.03.2008)

M.Sc. Mohit Thakur, wiss. Angestellter (seit 01.10.2007)

M.Sc. Danail Traskov, Akad. Rat. a. Z. (seit 01.10.2007)

Dipl.-Ing. Johanna Weindl, wiss. Angestellte

M.Sc. Georg Zeitler, Akad. Rat. a. Z. (seit 15.06.2007)

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Dr.-Ing. Hrvoje Jenkač, wiss. Assistent (zum 30.09.2007)

Dipl.-Ing. Günther Liebl, wiss. Assistent (zum 31.10.2006)

Dr.-Ing. Timo Mayer, wiss. Angestellter (zum 31.03.2008)

Dr.-Ing. Frank Schreckenbach, wiss. Assistent (zum 31.10.2006)

Dr. phil. nat. Jürgen Zech, wiss. Angestellter (zum 30.06.2007)

2.1 Wissenschaftliches Personal

2.2 Lehrbeauftragte

2.3 Externe Doktoranden

2.4 Gastwissenschaftler

2.5 Mitarbeiter in den Werkstätten

2.6 Mitarbeiterinnen im Büro und in der Verwaltung

2.7 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

2.8 Ehrungen und Jubiläen

2.9 Alumni-Nachrichten

Die Zusammenstellung bezieht sich auf den 30.09.2008. Dr. Dütsch ist inzwischen ausgeschieden, Christoph Hausl, Johanna Weindl und Thomas Stockhammer (Kapitel 2.4) werden in Kürze zum Dr.-Ing. promoviert.

Anzumerken ist, dass der akademische Grad *Master of Science* in dieser Zusammenstellung einheitlich mit M.Sc. abgekürzt wird und vor dem Namen steht. Bei amerikanischen Universitäten ist oft das Kürzel M.S. dem Namen nachgestellt.

Auf den nächsten Seiten folgen die Personalien unseres neuen Chefs und der neuen Mitarbeiter, zeitlich geordnet nach ihrer LNT-Zugehörigkeit.

Prof. Dr. **Ralf Kötter** wurde 1963 in Königstein im Taunus geboren. Nachdem er im Jahr 1989 sein Elektrotechnik-Studium an der TH Darmstadt mit dem Diplom abgeschlossen hatte, ging er an die Universität Linköping nach Schweden und erlangte 1996 den Ph.D. für technische Wissenschaften. Danach wechselte er an das IBM Research Laboratory im kalifornischen Almaden, später an die University of Illinois und an das CNRS nach Frankreich. 1999 wurde Ralf Kötter Assistant Professor an der University of Illinois in Urbana-Champaign und zum 01.10.2006 als Nachfolger von Prof. Hagenauer auf den Lehrstuhl für Nachrichtentechnik berufen.



Nach Erledigung wichtiger Aufgaben in Illinois kehrte er im Januar 2007 mit 18 Jahren Auslandserfahrung nach Deutschland zurück und nahm seine vielfältigen Aufgaben am LNT in Angriff – unter anderem vier Vorlesungen und zahlreiche weitere Lehrveranstaltungen. In der Forschung bearbeitet er alle praktischen und theoretischen Aspekte der Kommunikationstechnik. Sein Spezialgebiet ist die Codierungs- und Informationstheorie für Netze.

Georg Zeitler, M.Sc., geboren 1982 in München, studierte von Herbst 2002 bis 2005 im Studiengang Elektro- und Informationstechnik an der TU München und danach an der University of Illinois in Urbana-Champaign, wo er 2007 sein Studium mit einer Masterarbeit über universelle Prädiktion abschloss.



Der neue Chef und die neuen Kollegen am LNT

Seit dem 15.06.2007 forscht Georg Zeitler als Akademischer Rat a.Z. in der Netzcodierungsgruppe von Prof. Kötter und arbeitet seit November 2007 an einem Projekt zur Relaiskommunikation in drahtlosen Funknetzen. In der Lehre betreut er die Vorlesung *Nachrichtentechnik 2*.

Manfred Danzer wurde 1965 in Landshut geboren. Er begann 1980 eine Lehre im Maschinenbau und absolvierte nach mehreren Berufsjahren bei Texas Instruments ab 1994 eine Weiterbildung zum Maschinenbautechniker und ab 1997 eine weitere Ausbildung zum Netzwerkadministrator. Seit 1999 arbeitet Manfred Danzer an der Fachhochschule München und der TUM. Im Juli 2007 wechselte er an den LNT. Als Systemadministrator ist er für alle Computersysteme – Linux und Windows, Clients und Server – verantwortlich hinsichtlich Installation, Betrieb, Backup, Peripherie, Netzkomponenten und einiges mehr.



Oscar Gaete, M.Sc., 1981 in Vina del Mar in Chile geboren, studierte ab 1998 Elektrotechnik an der Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso in Chile und für ein Semester an der Tecnológico de Monterrey in Mexiko. Anschließend, ab 2003, studierte Oscar Gaete Photonische Systeme mit Schwerpunkt Optische Übertragungstechnik an der HTW Aalen. Er beendete sein Studium Anfang 2007 mit der Masterarbeit „Indoor-Kommunikation über sichtbares Licht“. Seit 01.07.2007 arbeitet er in der Optikgruppe von Prof. Hanik und beschäftigt sich in enger Kooperation mit Nokia Siemens Networks mit robusten Modulationsverfahren für hohe Kanaldatenraten bis 100 Gbit/s. In der Lehre betreut er die Vorlesung *Signaldarstellung* von Prof. Hanik für zukünftige Berufsschullehrer und BWL-Studenten.



Dr. **Vladimir Yur'evich Kuryshev** wurde 1966 in Leningrad geboren.



Ab 1983 studierte er Biophysik an der TU Leningrad und arbeitete nach der Graduierung 1989 als Physikingenieur in der Molekular-

genetikgruppe am Institut für Experimentelle Medizin in St. Petersburg. Von 1997 bis 2001 promovierte er bei Prof. Brosius am Institut für Experimentelle Pathologie und Molekulare Neurobiologie der Universität Münster. Nach sechs Jahren als Postdoc am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg wechselte er zum 01.07.2007 an das Max-Planck-Institut für Ornithologie in Seewiesen zu Dr. Müller. Zugleich arbeitet er als ständiger Gast in der von Prof. Hagenauer geleiteten ComInGen-Gruppe des LNT. Seine Hauptaufgabe ist die Aufbereitung biologischer Daten zur Entwicklung neuer informationstheoretischer Algorithmen und Anwendungen, um hochaktuelle biologische Fragen lösen zu können.

M.Sc. **Mohit Thakur**, 1980 in New Delhi geboren, studierte ab 1999 an der Punjab Technical University und erlangte 2003 den Bachelor für „Technology in Electronics and Communication Engineering“.



2005 wurde er vom Institut National des Télécommunications in Paris zum Master of Science in Computer and Communication Networks graduiert. Von März 2006 bis September 2007 war er bei der Siemens AG in München im MUSE-Projekt tätig. Seit 01.10.2007 ist Mohit Thakur wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Kötter und bearbeitet das Projekt „Development of a Network Planning and Optimization Tool based on NCP Tool and JiST“. In der Lehre betreut er die Vorlesung *Optimization in Communications and Signal Processing* sowie den Versuch Digitale Signaldarstellung.

Danail Traskov, M.S., 1982 in Sofia geboren, wurde der B.Sc.-Grad 2004



von der TU Darmstadt verliehen und der Master von der University of Illinois in Urbana-Champaign 2006, jeweils in Elektro- und Infor-

mationstechnik. 2006 war er für drei Monate bei Bell Labs in Murray Hill, New Jersey. 2007 folgte ein weiterer Forschungsaufenthalt beim *Laboratory for Information and Decision Systems* am MIT in Massachusetts. Seit 01.10.2007 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Kötter und befasst sich mit Netzcodierung, insbesondere mit dem Scheduling in mobilen Ad-hoc-Netzwerken sowie effizienten Optimierungsalgorithmen. In der Lehre betreut Danail Traskov die Vorlesung *System Aspects in Communications* sowie das Hauptseminar *Digitale Kommunikationsysteme*.

Dr.-Ing. **Thomas Hindelang**, 1967 in Marktoberdorf geboren, studierte



von 1988 bis 1994 an der TU München Elektrotechnik. Anschließend war er bis 2000 am LNT als wissenschaftlicher Assistent tätig und promovierte 2001 zum Thema „Gemeinsame Quellen- und Kanalcodierung“ mit dem Schwerpunkt auf der Sprachübertragung im Mobilfunk. 1999 war er für sechs Monate bei den AT&T Shannon Labs in Florham Park, New Jersey.

2000 ging Dr. Hindelang zur Siemens AG, zunächst zum Bereich der Mobiltelefone. 2004 wechselte er in die Netzwerksparte. Seit 2006 war er Dienststellenleiter der Gruppe „Basisband-Simulationen und Algorithmen“ in der Produktentwicklung für Basisstationen mit ca. 15 Mitarbeitern, erst bei der Siemens AG, seit 2007 bei der fusionierten Firma Nokia Siemens Networks. Seit Oktober 2007 hält Dr. Hindelang als Lehrbeauftragter die Vorlesung *Mobile Communications*. Seit November 2008 ist er Patentprüfer am Europäischen Patentamt in München.

Dr.-Ing. **Ingo Vierung** wurde 1974 im fränkischen Marktheidenfeld ge-



boren. Von 1994 bis 1999 studierte er an der TU Darmstadt Elektrotechnik, danach beschäftigte er sich als Doktorand der Siemens AG in

Ulm und während eines Forschungsaufenthaltes (2001) beim Telecommunication Research Center in Wien. Nach der Promotion 2003 bei Prof. Bossert an der Universität Ulm war Dr. Vierung Consultant bei Siemens Mobile. Er koordinierte Projekte mit Universitäten, evaluierte zukünftige Kommunikationssysteme und war zuständig für die 3GPP-Standardisierung. Noch heute übt er diese Consulting-Tätigkeit aus, inzwischen für Nokia Siemens Networks.

2004 gründete er gemeinsam mit dem früheren LNT-Mitarbeiter Thomas Stockhammer und Prof. Hagenauer die Nomor Research GmbH, eine teilweise Spin-off der TUM mit derzeit ca. 15 Mitarbeitern. Im Kapitel 12.4 sind deren Aktivitäten im Detail beschrieben. Seit Oktober 2007 hält Dr. Vierung als Lehrbeauftragter die Vorlesung *System Aspects in Communications* für den EI- und MSCE-Studiengang.

Dipl.-Ing. **Joschi Brauchle**, M.S., 1982 in Bad Reichenhall geboren,



studierte ab 2002 an der TU München Elektro- und Informationstechnik mit Schwerpunkt Nachrichtentechnik. Im Rahmen eines Stipendiums am Georgia Institute of Technology in Atlanta erwarb er 2006 den Titel Master of Science und beendete 2007 sein TUM-Studium mit einer Diplomarbeit über „List-Viterbi Decoding of Convolutional Codes“. Seit 01.11.2007 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT und beschäftigt sich mit der algebraischen Soft-Decodierung von Reed-Solomon-Codes mittels multivariater Interpolation. Daneben betreut er die Vorlesung *Channel Coding* und ist gemeinsam mit Frau Choppé für die LNT-Bibliothek verantwortlich.

Dipl.-Ing. **Tobias Lutz** wurde 1980 in Krumbach (Schwaben) geboren. Von



2002 bis 2007 studierte er an der TU München im Fachgebiet Elektro- und Informationstechnik und war im Rahmen eines Stipendiums ein

Jahr am Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) in Troy im US-Bundesstaat New York. Zum 01.03.2008 wurde Tobias Lutz wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT und befasst sich mit Netzcodierung, Mehrnutzer-Informationstheorie und Fehlerkorrektur in Netzen. Ab dem Wintersemester 2008/09 organisiert er das Grundpraktikum Nachrichtentechnik. Daneben studiert er seit 2007 an der Fernuniversität in Hagen Mathematik mit dem Nebenfach Betriebswirtschaftslehre.

Dipl.-Ing. **Jie Hou**, geboren 1982 in Nanjing, China, studierte ab 2002



an der Universität Ulm sowie der TU München Elektro- und Informationstechnik mit Schwerpunkt Nachrichtentechnik. Im Frühjahr

2008 beendete er sein Studium mit einer Diplomarbeit über „Codierung und Modulation für den Two-Way-Relay-Kanal mit asymmetrischen Raten“ am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik. Seit September 2008 ist Jie Hou als wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Kötter am LNT tätig und arbeitet auf dem Gebiet der Netzcodierung. Er befasst sich insbesondere mit „Joint Network-Channel Coding for Relay Networks“. Daneben übernimmt er den Versuch *Code Division Multiplex* im Grundpraktikum Nachrichtentechnik.

Im Berichtszeitraum besuchten uns 17 ausländische Gäste aus China, Dänemark, Irland, Italien, Portugal und vorwiegend aus den USA für mindestens eine Woche. In der nebenstehenden Liste sind diese Besuche zeitlich geordnet aufgeführt.

2.2 Lehrbeauftragte

Dr.-Ing. Thomas Hindelang, Nokia Siemens Networks, München (seit 2007)
 Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Reimar Lenz, Dr. Lenz Videometrie München,
 Dr.-Ing. Michael Mecking, BMW AG München,
 Dr.-Ing. Alexander Seeger, Europäisches Patentamt, München (bis 2007),
 Dr. Ingo Viering, Fa. Nomor Research , München (seit 2007)

2.3 Externe Doktoranden

Dr.-Ing. Matthias Mörz, Aspien GmbH, München
 Dr.-Ing. Ulrich Nuding, Graduiertenkolleg/Zentrum für Sensomotorik
 Dipl.-Ing. Günther Liebl, Fa. Nomor Research GmbH
 Dipl.-Ing. Thomas Stockhammer, Fa. Nomor Research GmbH

2.4 Gastwissenschaftler

Prof. Raymond Yeung, Department of Information Engineering
 Chinese University of Hong Kong, China
 01.01.2007 – 30.04.2007

Prof. Alexander Vardy, Department of Electrical and Computer Engineering
 University of California, San Diego, USA
 20.06.2007 – 24.06.2007

Prof. Michelle Effros, Institut of Technology, Pasadena
 University of California, CA, USA
 01.07.2007 – 12.07.2007, 25.02.2008 – 03.03.2008, 18.06. – 23.06.2008

Salim El Rouaybe, Ph.D. Student,
 Texas A&M University, USA
 02.07.2007 – 22.08.2007

Prof. Christoph Peucheret, Institut for Fotonik
 Danmarks Tekniske Universitet (DTU) Kopenhagen
 08.07.2007 – 13.07.2007, 06.07.2008 – 11.07.2008

Luisa Lima, Graduate Student, School of Engineering
 University of Porto, Portugal
 20.09.2007 – 20.12.2007

Dr. Desmond S. Lun, Computational Biologist,
 The Broad Institute of MIT and Harvard, Cambridge, USA
 15.11.2007 – 24.11.2007

Rachit Agarwal, Postgraduate Student, Department of Computer Science,
 University College Cork, Ireland
 15.02.2008 – 31.08.2008

Dr. Pascal O. Vontobel
 Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, USA
 16.02.2008 – 24.02.2008

Dr. Parastoo Sadeghi, Department of Information Engineering
 Australian National University (ANU), Canberra, Australia
 21.04.2008 – 30.06.2008

Dr. Olgica Milenkovic, Department of Electrical and Computer Engineering
 University of Colorado, Boulder, USA
 20.05.2008 – 27.05.2008

Prof. Anthony Ephremides, Department of Electrical Engineering
University of Maryland, USA
02.05.2008 – 22.07.2008

Min Ji Kim, Graduate Student, Electrical Engineering & Computer Science
Massachusetts Institut of Technology (MIT), Cambridge, USA
31.05.2008 – 05.07.2008

Shirley Xiaomeng, Grad. Student, Electrical Engineering & Computer Science
Massachusetts Institut of Technology (MIT), Cambridge, USA
31.05.2008 – 05.07.2008

Jay Kumar Sundararajan, Grad. Student, Electrical Engineer. & Computer Sc.
Massachusetts Institut of Technology (MIT), Cambridge, USA
31.05.2008 – 05.07.2008

Daniele Capirone, Ph.D. Student, Politecnico di Torino,
University Torino, Italy
10.06.2008 – 22.06.2008, 08.09.2008 – 19.09.2008

Prof. Muriel Medard, Electrical Engineering and Computer Science
Massachusetts Institut of Technology (MIT), Cambridge, USA
01.07.2008 – 12.07.2008

2.5 Mitarbeiter in den Werkstätten

Manfred Danzer, Systemadministrator, Elektroniklabor (seit 01.07.2007)
Manfred Jürgens, Betriebsinspektor, Mechanische Werkstatt
Martin Kontny, Elektromaschinenbauer, Elektroniklabor
Ansgar Ströbele, Hauptwerkmeister

Im Berichtszeitraum ausgeschieden:

Winfried Kretzinger, Leiter des Elektroniklabors (Ruhestand zum
01.02.2007)

2.6 Mitarbeiterinnen im Büro und in der Verwaltung

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

2.7 Wissenschaftliche und Studentische Hilfskräfte

Wissenschaftliche Hilfskräfte:

Simon Blank, Oscar Gaete, Alina Meyer geb. Resch, Markus Weinhold, Yven Winter (mit Werkvertrag).

Studentische Hilfskräfte:

Paula Gil Arbues, Carlos Gomez Bartolome, Joschi Brauchle, Weijian Chen, Awital Choppé, Andreas Dotzler, Andrey Frik, Qingqing Gong, Cuong Hoang, Jie Hou, Chavdar Iliev, Avni Islamaj, Thorsten Kalweit, Lydia Kraus, Rehema Nakigozi, Audrey Nemeth, Louizi Slim, Khaled Soussi, Nabeel Sulieman, Chao Thang, Andreas Wolf, Yikang Xiang, Nicole Xie.

Zusätzliche Werkstudenten und Tutoren aus Studienbeiträgen:

Hannes Bartz, Hamza Ben Rached, Thomas Breitenauer, Ulli Brennenstuhl, Abdallah Bou Saleh, Lena Chebli, Markus Elsberger, Thomas Großer, Michael Heindlmaier, Ji Lu, Victor Gomez Pantoja, Weijian Shi, Renato Torres Silveira, Tushar Soni, Yue Sun, Paul Emile Tawk.

Die links aufgeführten Studierenden waren mit administrativen Arbeiten betraut oder arbeiteten als Studentische bzw. Wissenschaftliche Hilfskräfte bei Forschungsprojekten oder bei der Praktikumsbetreuung mit.

Im dritten Absatz sind diejenigen Studenten aufgeführt, die aus Studienbeiträgen finanziert wurden. Diese sind seit 2006 in Bayern obligatorisch und sollen zur Verbesserung der Lehre verwendet werden. Viele der Studentischen Hilfskräfte (Absatz 2) hatten ähnliche Aufgaben, wurden aber vom LNT bezahlt.



2 Personelles

Nachfolgend sind in alphabetischer Reihenfolge die Professoren, Mitarbeiter, Lehrbeauftragten und Doktoranden aufgeführt, die im Berichtszeitraum für hervorragende Leistungen in Lehre und Forschung ausgezeichnet wurden. Aufgeführt sind hier nur solche Auszeichnungen, die mit dem LNT in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Ebenfalls angegeben sind Jubiläen.

Ehrungen von ehemaligen Mitarbeitern unseres Lehrstuhls finden Sie im nachfolgenden Kapitel 2.9.



Innovationspreisträger Ralf Kötter

2.8 Ehrungen und Jubiläen

Wir beginnen mit einem seltenen Jubiläum: Der Leiter unserer Mechanischen Werkstatt, Betriebsinspektor **Manfred Jürgens**, feierte im Februar 2008 sein *40-jähriges Dienstjubiläum* und erhielt aus diesem Anlass vom Präsidenten, Prof. Wolfgang A. Herrmann, die Goldene Ehrennadel der TU München überreicht. M. Jürgens begann 1967 seine Lehrzeit an der TU München am Lehrstuhl für Hydraulische Maschinen und Anlagen und war danach zehn Jahre am Lehrstuhl für Feingerätebau und Getriebelehre. 1981 wechselte er zu uns und übernahm 1993 die Leitung der Mechanischen Werkstatt. Seit 1995 ist er als Beamtenvertreter im Personalrat des TUM-Stammgeländes.

Im Herbst 2006 wurde Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer** vom Präsidenten der TU München, Herrn Prof. Wolfgang A. Herrmann, in das *Board of Trustees* des renommierten *Institute of Advanced Study* berufen. Die vierzehn Mitglieder dieses Gremiums – darunter drei Nobelpreisträger – haben die Aufgabe, das im Rahmen der Exzellenzinitiative der TU München gegründete Institut zu koordinieren.

Am 24.10.2006 wurde Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer** beim VDE-Kongress in Aachen der Ehrenring des VDE in Würdigung seiner Verdienste um den Mobilfunk überreicht.

Im Dezember 2007 erschien ein Sonderheft der *European Transactions on Telecommunications* zur Würdigung der Lebensleistung von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer**. Als Autoren wirkten 22 seiner Doktoranden mit. Die Laudatoren waren Prof. Eberspächer und Prof. Huber.

Eine weitere Ehrung wurde Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Joachim Hagenauer** im Januar 2008 an der *American University of Beirut* zuteil. Im Beisein des deutschen Botschafters im Libanon, Hans Jörg Haber, wurde er für seine Verdienste beim *Aufbau des dortigen IT-Masterstudiengangs* vom Dekan Ibrahim Hajj ausgezeichnet. Nähere Informationen zu seinen diesbezüglichen Aktivitäten im Rahmen des EU-Projekts CITPER finden auf Seite 60.

Unserem Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. **Ralf Kötter** wurde für seine bahnbrechenden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Kommunikationstechnik – insbesondere der Netzcodierung – der *Innovationspreis 2008* der Vodafone-Stiftung verliehen. Mit diesem Preis werden jährlich herausragende Persönlichkeiten ausgezeichnet, deren Arbeiten wegweisende Innovationen auf dem Gebiet der Mobilkommunikation ermöglichen. Bei der festlichen Preisverleihung am 05.06.2008 im Römerkastell zu Stuttgart im Beisein von Ministerpräsident Oettinger sagte Fritz Jousen, CEO von Vodafone Deutschland: „Mit Professor Kötter ehren wir eine der herausragenden Forscherpersönlichkeiten, die derzeit auf dem Gebiet der Kommunikationstechnik tätig ist. Die Arbeiten von Professor Kötter haben die Entwicklung der Mobilkommunikation in den letzten Jahren entscheidend geprägt und werden sie ohne Zweifel auch in Zukunft weiter vorantreiben. Dass Professor Kötter heute wieder in München arbeitet, ist nicht nur ein unschätzbare Gewinn für die Technische Universität München, sondern auch für den Forschungsstandort Deutschland insgesamt“. Ein ausführlicher Bericht folgt im Kapitel 9.4.

Der wissenschaftliche Mitarbeiter am LNT von 2000 bis 2006 und Lehrbeauftragte 2006/2007, Dipl.-Ing. **Günther Liebl**, wurde zusammen mit Prof. Dr.-Ing. Eckehard Steinbach und M. Sc. Wei Tu – beide vom Lehrstuhl für Kommunikationsnetze – für ihren gemeinsamen Aufsatz „Proxy-based Transmission Strategies for Wireless Video Streaming“ im November 2007 beim *16th International Packet Video Workshop* in Lausanne, Schweiz, mit dem *Best Paper Award* ausgezeichnet.

2.9 Alumni-Nachrichten



Vom 24. bis 26.10.2008 fand ein großes TU-weites Alumni-Treffen statt. Unser früherer Ordinarius, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Hans Marko**, hatte für die Zentralveranstaltung am Samstagabend in der Mensa einen Tisch reserviert und seine ehemaligen Doktoranden eingeladen. Etwa zehn Markomannen waren dieser Einladung gefolgt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Titel aufgezählt: Alexander Gerhard, Gert Hauske, Dieter Heidner, Friedrich Kühne, Reimar Lenz, Manfred Mall, Alfred Nischwitz, Alfred Weber.

Dr.-Ing. **Stephan Bärö**, seit seiner Promotion 2004 bei der Firma Bosch in Stuttgart tätig, hat im September 2008 eine auf drei Jahre befristete Aufgabe innerhalb der japanischen Tochtergesellschaft des Unternehmens übernommen. Mit seiner Frau Alexandrine und den beiden Kindern Marion (6) und Anna (1) wohnt er jetzt in Tokio.

Dr.-Ing. Dipl. Volkswirt **Gerhard Bauch**, von 1996 bis 2001 wissenschaftlicher Assistent am LNT und danach über viele Jahre unser Projektpartner bei DOCOMO Eurolabs, wurde zusammen mit Pedro Tejera und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Utschick für ihre Arbeit „Subchannel Allocation in Multiuser Multiple-Input-Multiple-Output Systems“ einer der *ITG-Preise 2007 für hervorragende Veröffentlichungen* verliehen. Zu der Preisübergabe anlässlich des VDE-Kongresses gab es am 27.10.2007 einen Festakt in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Zum 01.02.2009 wurde **Dr.-Ing. Gerhard Bauch** auf die *W3-Professur für Informationsverarbeitung* an die Universität der Bundeswehr München berufen. Er ist damit Nachfolger von Prof. Dr.-Ing. Ulrich Appel, LNT-Mitarbeiter zwischen 1967 und 1975 und Doktorand von Prof. Marko.

Zum gleichen Zeitpunkt ist ein weiterer Ruf an einen ehemaligen LNT-Kollegen ergangen: Prof. Dr.-Ing. habil. **Norbert Görtz**, der sich 2004 an unserer Fakultät habilitiert hat und danach als Lecturer und Senior Lecturer an der University of Edinburgh geforscht und gelehrt hat, ist seit 1. September 2008 *Professor für Multimediale Signalverarbeitung* an der Technischen Universität Wien. Die Professur ist am Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik angesiedelt, an dem so bekannte Persönlichkeiten wie Prof. Mecklenbräuker und Prof. Weinrichter lehren bzw. gelehrt haben.

Dr.-Ing. **Thomas Hindelang**, wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT von 1994 bis 2000, wechselte zum 01.11.2008 von Nokia Siemens Networks als Patentprüfer an das *Europäische Patentamt* in München. Er ist damit Kollege von Dr. Burkert, Dr. Offer und Dr. Seeger, die ebenfalls bei Prof. Hagenauer promovierten. Außerdem ist zu vermelden, dass Thomas Hindelang sportliche Erfolge vorweisen kann: Er erreichte beim Jungfraumarathon 2008 den 797. Platz bei über 4000 Startern und einen hervorragenden 570. Platz beim München Marathon 2007 bei fast 6000 Startern.

Zum 01.09.2008 wurde Dr.-Ing. **Matthias Mörz** zum Professor für hardwareorientierte Nachrichtentechnik mit Schwerpunkt Signalverarbeitung, Sensorik und Elektronik an der *Hochschule für angewandte Wissenschaften – Fachhochschule Coburg* ernannt. Dr. Mörz war von 1999 bis 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT und promovierte 2007 bei Prof. Hage-

In dieser Rubrik sind Ehrungen sowie berufliche und private Veränderungen ehemaliger Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zusammengestellt. Wir gratulieren herzlich!

Sollten wir hier Jemanden vergessen haben, so bitten wir vorab um Entschuldigung. Gleichzeitig bitten wir um Informationen für zukünftige Alumni-Nachrichten, die Sie auch auf den www-Seiten des Lehrstuhls finden können (www.lnt.ei.tum.de).

nauer. Die von ihm 2005 gegründete und geleitete Firma Aspien GmbH wird er weiterführen.

Die Alumni-Gruppierung *TUM-LNTalumni 2minus* meldet seit Oktober 2006 folgende Neuzugänge:

03.06.2007 **Miriam Seeger** – ihr Vater Alexander war von 1995 bis 1997 Mitarbeiter am LNT und danach von 2001 bis 2007 Lehrbeauftragter,

22.08.2007 **Anna Bäro** – ihr Vater Stephan war von 1997 bis zu seiner Promotion 2004 am LNT beschäftigt,

09.07.2008 **Korbinian Benedikt Liebl** – sein Vater Günther war wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT von 2000 bis 2006,

16.07.2008 **Jonas Sebastian Kaindl** – beide Elternteile, Markus Kaindl und Melanie Kaindl, geb. Witzke, haben 2005 am LNT promoviert,

29.07.2008 **Sebastian Johannes Bauer** – sein Vater Rainer war von 1996 bis zu seiner Promotion 2002 am LNT beschäftigt,

24.09.2008 **Antonia Theresia von Kracht** – ihr Vater Christoph Hausl ist seit 2004 am LNT tätig, derzeit als Akademischer Rat a.Z.

3.1 Einige allgemeine Bemerkungen zur Lehre

Günter Söder

Auch an unserer Fakultät gibt es im Rahmen des so genannten Bologna-Prozesses grundlegende Veränderungen hinsichtlich der Lehre. Keiner der Studienanfänger im Fachgebiet Elektro- und Informationstechnik (EI) ab Oktober 2008 wird die Universität als Diplomingenieur verlassen, sondern nach dreijähriger Regelstudienzeit als *Bachelor of Science* (B.Sc.) oder nach weiteren zwei Jahren mit dem *Master of Science* (M.Sc.). Der Autor dieser Zeilen gibt diese Zäsur mit einer gewissen Wehmut bekannt. Erst die Zukunft wird zeigen, ob sich die Vorzüge der von der Politik gewollten und von der Fakultät umgesetzten Studienreform bewahrheiten.

Bei den Veranstaltungen des LNT ist derzeit noch eine beruhigende Kontinuität zu erkennen. Prof. Kötter hat die zwei Einführungsvorlesungen *Nachrichtentechnik 1 und 2* inhaltlich in Teilen von Prof. Hagenauer übernommen und einige wichtige neue Kapitel hinzugefügt. Die stark abgeänderte Vorlesung *Channel Coding* wird nun in englischer Sprache für Studierende des MSCE- und des EI-Studiengangs gemeinsam gehalten, ebenso wie seine neue Vorlesung *Optimization in Communications and Signal-Processing*, die er gemeinsam mit Prof. Utschick liest. Die Inhalte aller Lehrveranstaltungen von Prof. Kötter, Prof. Hagenauer, den Mitarbeitern und der Lehrbeauftragten sind in Kapitel 3.2 zusammengestellt.

Dr. Hindelang liest seit dem Wintersemester 2007/2008 als Lehrbeauftragter *Mobile Communications* (2006/2007: Günther Liebl). Dr. Vierung hat zum gleichen Zeitpunkt von Dr. Seeger *System Aspects in Communications* übernommen. Beide Vorlesungen können ebenso wie *Information Theory* von Dr. Mecking sowohl von Hörern des „deutschen“ Studiengangs als auch des internationalen MSCE-Kurses (*Master of Science in Communications Engineering*) besucht werden. Im Kapitel 9.7 berichten wir über die Erfahrungen von „10 Jahre MSCE“, eine echte Erfolgsgeschichte der Fakultät und von Prof. Hagenauer persönlich. Seit 01.10.2008 ist Prof. Kötter der MSCE-Programmdirektor.

Im Kapitel 3.3 aufgelistet sind die Veranstaltungen von Prof. Hanik und seiner Assistenten für EI und MSCE. Hier gab es gegenüber dem vorherigen Berichtszeitraum nur marginale Änderungen, ebenso wie bei den Vorlesungen für das „Lehramt an Beruflichen Schulen“ (LB), die hauptsächlich von Prof. Hanik, aber auch von Dr. Eichin und Prof. Söder gehalten werden (Kapitel 3.4). Obwohl alle diese Veranstaltungen den Zusatz „LB“ aufweisen, sind 90% der Hörer TUM-BWL-Studenten.

In Kapitel 3.6 und 3.7 sind die in den beiden Seminaren mit den Vorlesungsnummern 72140 und 72174 gehaltenen Vorträgen von Studenten aufgeführt.

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

3.2 LNT-Veranstaltungen für EI und MSCE

Nr. 72101: PF (2V + 1Ü) im 4. Sem.
Nachrichtentechnik 1
SS 07: Kötter mit Jenkač
SS 08: Kötter mit Hausl

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.

Nr. 72111: WP (2V + 1Ü) im 5. Sem.
Nachrichtentechnik 2
WS 06/07: Söder mit Jenkač
WS 07/08: Kötter mit Zeitler

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

Nr. 72113: WP (2V + 1Ü) im 7. Sem.
Mobile Communications
WS 06/07: Liebl
WS 07/08: Hindelang
(in Englisch, auch für MSCE-1)

Introduction to mobile communication systems. Digital modulation schemes used for mobile communications. Models for mobile radio channels: slow/fast fading channel, frequency-selective/non-frequency-selective channels. Equalization for mobile communication systems and derivation of error probabilities. Introduction in existing (GSM, UMTS, WiMAX) and future (LTE) mobile communication systems.

Nr. 72120: WP (3V) im 8. Sem.
Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme
SS 07: Kötter, Hanik, Mayer
SS 08: Kötter, Hanik, Traskov

Für das Seminar werden verschiedene Themen aus den Gebieten der Digitalen Kommunikationstechnik ausgewählt, die von den Studenten selbständig bearbeitet werden, zum Beispiel Sprach- und Videocodierung, Multimedia-Übertragung, AdHoc-Netzwerke, optische Übertragungstechnik sowie Informationstheorie und Kanalcodierung. Jeder Student fasst die Ergebnisse seiner Arbeit schriftlich zusammen und hält anschließend einen wissenschaftlichen Vortrag. Themenliste siehe Kapitel 3.5.

Nr. 72122: WP (2V + 1Ü) im 7. Sem.
Information Theory and Source Coding
Mecking
Jeweils im Wintersemester
(in Englisch, auch für MSCE-1)

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

Basic propagation effects: cell layout, antenna pattern, pathloss, shadowing, link budgets, mobility, handover, cell selection. Access systems: broadcast/multiple access, uplink/downlink, TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, SDMA, PAPR, single carrier FDMA, duplex methods. OFDM: cyclic convolution, FFT, subcarrier spacing, symbol length, delay/Doppler spread, aliasing, synchronization. Link adaptation: power control, adaptive modulation and coding, hybrid/outer ARQ, link adaptive scheduling. Intercell interference: statistical properties, frequency reuse, interference averaging, soft handover, interference coordination, interference cancellation. Protocol stack: packet/circuit switched, segmentation, concatenation, protocol headers, OSI model, X-layer design. Scheduler: multi-user diversity, fairness, quality of service, frequency domain scheduling. System architecture: network elements, nodes, hierarchical structure, impact on performance and costs. Traffic types: voice, VoIP, streaming, gaming, www, FTP, full buffer. Existing systems: HSDPA, HSUPA, LTE, WiMAX.

Nr. 72124: WP (2V + 1Ü) im 7. Sem.
System Aspects in Communications
 WS 06/07: Seeger
 WS 07/08: Viering mit Traskov
 (in Englisch, auch für MSCE-3)

Introduction to error-control coding. Review of information theory: limits on data transmission, discrete-time channel models, the channel coding theorem(s). Binary block codes: properties, construction and performance of the single parity check code, the repetition code and the Hamming code. Linear binary block codes: the Hamming space: definition and properties, syndrome decoding, performance and minimum distance bounds. Binary convolutional codes: description and encoding, puncturing, Viterbi decoding, performance bounds (Viterbi bound). Galois fields: properties, construction methods. Reed Solomon codes: construction, properties, encoding and bounded minimum distance decoding (Berlekamp Massey algorithm). Iterative decoding: concatenated codes, factor graph, Tanner graph, message passing, belief propagation, LDPC codes, Turbo codes. Optional: BCH codes: construction, properties; Cyclic codes: construction, properties.

Nr. 72127: WP (2V + 1Ü) im 6. Sem.
Channel Coding
 SS 2007: Kötter mit Mayer
 SS 2008: Kötter mit Brauchle
 (in Englisch, auch für MSCE-2)

Charakteristische Versuche und Messungen an Nachrichtentechnischen Systemen: Analoge Modulationsverfahren (AM, FM), Bildcodierverfahren (PCM, DPCM, Laplace-Pyramiden-Coder, DCT), Codemultiplexsysteme (CDMA), Digitale Modulationsverfahren (BPSK, QPSK, MSK, QAM), Digitale Sinaldarstellung (Abtastung, Quantisierung, Binärcodierung), Digitale Basisbandübertragung (AWGN-Kanal, ISI, Augendiagramm, Matched-Filter, Entzerrer), Diversität im Mobilfunk (Fading-Kanäle, Zeitdiversität, Frequenzdiversität, Antennendiversität).

Nr. 72140: WP (4P) im 5.–8. Sem.
Grundpraktikum Nachrichtentechnik
 Kötter mit Dütsch u. a.
 Jedes Winter- und Sommersemester

Einführung in die Mikroprozessor-Grundlagen und die Technik des Programmierens: Interrupts, I/O-Ports, Gerätetreiber. Anwendungsbeispiele: diskrete Faltung, PN-Generator, serielle Datenübertragung, rekursiver Sinusgenerator, Approximation analoger Filter durch digitale Systeme, Datenkompression (Huffman-Code), Kanal(de)codierung (Paritätsprüfung, Hammingcode), AWGN-Kanal.

Nr. 72141: WP (4P) im 6./8. Sem
Praktikum Anwendung des Mikroprozessors in der Nachrichtentechnik
 Söder
 Jeweils im Sommersemester

Nr. 72142: WP (4P) im 6./8. Sem.
**Praktikum Simulationenmethoden
in der Nachrichtentechnik**
Söder
Jeweils im Sommersemester

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

Nr. 72143: WP (4P) im 7. Sem.
**Praktikum Simulation digitaler
Übertragungssysteme**
Söder
Jeweils im Wintersemester

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

Nr. 72153: WF (2V) im 7. Sem.
**Digitale Fotografie und
Videometrie**
Lenz
Jeweils im Wintersemester

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

Nr. 72158 WF (2V) im 7. Sem.
**Kommunikations- und
Informationstheorie in der Genetik**
Hagenauer mit Dingel, Hanus,
Weindl
Jeweils im Wintersemester

Grundbegriffe der Informationstheorie. Grundlagen der Quellen- und Kanalcodierung. Basiswissen über molekulare Genetik. Beispiele von Anwendungen der Kommunikations- und Informationstheorie bei der Modellierung molekularbiologischer Prozesse: Genkartierung mit Hilfe von Transinformation, kompressionsbasierte Klassifizierung genetischer Daten, codierungstheoretische Modelle in der Genexpression, Detektion und informationstheoretische Analyse konservierter Bereiche im Genom.

Nr. 72173: PF (2V + 1Ü) im 2. Sem.
**Advanced Topics in
Communications Engineering**
SS 08: Ephremides mit Traskov
(in Englisch, nur für MSCE)

Introduction to the network paradigm and multi-user communication systems. Elements of queueing theory. - Queueing networks. Multiple access and medium sharing. Routing. Ad hoc wireless networks. Energy efficiency. Sensor networks. Network coding. Relationship of theory to practice.

This lecture is a joint seminar of the Institute for Communications Engineering (LNT) and the Institute of Communication Networks (LKN). It is a mandatory 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 Source, Channel and Equalization; Network Coding and Network Information Theory or Optical Communications. The aim of the seminar is that the students use scientific literature in order to gain a good understanding of the assigned topic, in order to be able to convey the main ideas in the form of a brief report and a scientific presentation. The presentations are given by MSCE students (see Chapter 3.6).

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

Introduction: problem statement of optimization, basic definitions, categorization. Convex Analysis: convex sets and functions. Optimality conditions: Karush-Kuhn-Tucker conditions, constraint qualifications. Lagrangian duality: duality theorems, solutions for the primal and dual problem. Algorithms for unconstrained and constrained optimization: gradient methods, Newton's method, subgradient methods, projection methods, fix-point algorithms. Applications: coding, filter design, belief propagation, network optimization, problems from multi-user information theory, resource allocation, parameter optimization in layered/distributed communication systems.

3.3 LÜT-Veranstaltungen für EI und MSCE

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

Nr. 72174: WP (2V) im 3. Sem.
Seminar on Actual Topics in Communications Engineering
 Kötter, Hanik, Mayer
 Jeweils im Wintersemester
 (in Englisch, nur für MSCE)

Nr. 72175: WP (4P) im 1. Sem.
Communications Laboratory
 Kötter mit Hausl
 Jeweils im Wintersemester
 (in Englisch, nur für MSCE)

Nr. 74671: WP (2V+1 Ü) im 7. Sem.
Optimization in Communication and Signal Processing
 Utschik/Kötter mit Traskov
 Wintersemester 2007/08
 (in Englisch, auch für MSCE-3)

Nr. 72915: WP (2V + 1Ü) im 7. Sem.
Digitale leitungsgebundene Übertragungstechnik
 Hanik mit Göbel
 Jeweils im Wintersemester

Nr. 72921: WP (2V + 1Ü) im 8. Sem.
Optical Communication Systems
Hanik mit Coelho
Jeweils im Sommersemester
(in Englisch, auch für MSCE-2)

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

Nr. 72991: WP (4P) im 8. Sem.
Simulation of Optical Communication Systems Laboratory
Hanik mit Hellerbrand u. a.
Jeweils im Sommersemester
(in Englisch, auch für MSCE-2)

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

3.4 Studiengang Lehramt an beruflichen Schulen (LB)

Nr. 72183: WP (2V + 1Ü) im 8. Sem.
Kommunikationssysteme (LB)
Eichin
Jeweils im Sommersemester
(WP für BWL im 6. Semester)

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

Nr. 72191: WP (3P) im 8. Sem.
Nachrichtentechnik-Praktikum (LB)
Eichin und Söder
Jeweils im Sommersemester
(WP für BWL im 6. Semester)

Charakteristische Versuche und Messungen an nachrichtentechnischen Systemen: Grundlagen der Statistik, Signale und Spektren, Amplitudenmodulation, Frequenzmodulation, Abtasttheorem, Pulsmodulation, Digitalsignalübertragung.

Nr. 72981: PF (2V + 1Ü) im 1. Sem.
Grundlagen der Informationstechnik (LB)
Hanik mit Breyer
Jeweils im Wintersemester
(PF für BWL im 1. Semester)

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, Verteilungsfunktionen und Momente, stationäre und ergodische Prozesse.

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

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

Nr. 72985: PF (2V + 1Ü) im 6. Sem.
Signaldarstellung (LB)
 Hanik mit Gaete
 Jeweils im Sommersemester
 (WP für BWL im 4. Semester)

Nr. 72987: WP (2V + 1Ü) im 7. Sem.
Modulationsverfahren (LB)
 Hanik
 Jeweils im Wintersemester
 (WP für BWL im 5. Semester)

3.5 Hauptseminar Digitale Kommunikationssysteme

Sommersemester 2007

- 14.06.2007 **Tobias Dick** – Betreuer: F. Breyer
OFDM in der optischen Übertragungstechnik
- 14.06.2007 **Florian Moll** – Betreuer: B. Göbel
Modulationsverfahren bei der optischen Freiraumübertragung
- 14.06.2007 **Stefan Götz** – Betreuer: S. Hellerbrand
Generierung von optischen Modulationsformaten mit einem Mach-Zehnder-Modulator
- 14.06.2007 **Guillaume Stern** – Betreuer: B. Göbel
Zukünftige Entwicklung optischer Netze
- 21.06.2007 **Quanxiu Lu** – Betreuer: J. Dingel
LDPC-Codes
- 21.06.2007 **Encho Hristov** – Betreuer: H. Jenkač
LT-Codierung
- 21.06.2007 **Johannes Blanckenstein** – Betreuer: C. Hausl
Digitaler Fernsehrundfunk mit hierarchischer Modulation
- 21.06.2007 **Tatjana Wunderlich** – Betreuer: C. Hausl
Verteilte Regelungssysteme mit beschränkten Kommunikationsmöglichkeiten
- 28.06.2007 **Pratana Kukieattikool** – Betreuer: N. Dütsch
Das R0-Kriterium

Dieses Hauptseminar ist eine gemeinsame Wahlpflichtveranstaltung von Prof. Kötter und Prof. Hanik, wobei alle LNT-Mitarbeiter in die Betreuung eingebunden sind. Organisatoren dieses Seminars waren Dipl.-Ing. Timo Mayer (2007) und Danail Traskov, M.S. (2008).

- 28.06.2007 **Lang Yu** – Betreuer: T. Mayer
Informationstheoretische Betrachtungen des Interferenzkanals
- 28.06.2007 **Jie Hou** – Betreuer: T. Mayer
Informationstheoretische Betrachtungen des MIMO-Kanals
- 28.06.2007 **Richard Zierhut** – Betreuer: H. Jenkač
Sliding-Window-BCJR-Decodierung
- 05.07.2007 **Julie Klein** – Betreuerin: J. Weindl
Analyse von Korrelationen in DNA-Sequenzen mittels
Informationstheorie und Signalverarbeitung
- 05.07.2007 **Dirk Pomsler** – Betreuer: P. Hanus
Clusteranalyse durch Message Passing

Sommersemester 2008

- 29.05.2008 **Doruk Cem** – Betreuer: C. Hausl
Transmit Diversity with Space-Time Coding
- 29.05.2008 **Yu Lang** – Betreuer: M. Thakur
Optimization Based Rate Control for Multicasting with
Network Coding
- 29.05.2008 **Weijian Shi** – Betreuer: T. Lutz
Introduction to the Relay Channel
- 29.05.2008 **Victor Gomez** – Betreuer: N. Dütsch
Portfolioverwaltung aus informationstheoretischer Sicht
- 05.06.2008 **Mohamed Fakhfakh** – Betreuerin: J. Weindl
Markov-Modelle in der Genomanalyse
- 05.06.2008 **Ding Wie** – Betreuer: J. Dingel
Inference and Prediction in Gene Network Models
- 05.06.2008 **Julia Geib** – Betreuer: P. Hanus
Kompression genetischer Sequenzen
- 05.06.2008 **Stephanie Manner** – Betreuer: Dr. Kuryshhev
Clustering by Compression: Applications in Molecular
Biology
- 12.06.2008 **Michael Lösch** – Betreuer: O. Gaete
Rauschen und Übertragungsstörungen in optischen Systemen

- 12.06.2008 **Lydia Kraus** – Betreuer: S. Hellerbrand
Multikanonische Monte-Carlo-Simulation
- 12.06.2008 **Andreas Wolf** – Betreuer: B. Göbel
FEC in optischen Übertragungssystemen
- 19.06.2008 **Ernesto Ortega** – Betreuer: G. Zeitler
Compressed Sensing
- 19.06.2008 **Chen Chao** – Betreuer: J. Brauchle
The Fundamental Iterative Algorithm for Decoding of Reed-Solomon Codes
- 19.06.2008 **Yousra El Hadj** – Betreuer: D. Traskov
Geographic Routing using Virtual Coordinates

3.6 Seminar on Topics in Communications Engineering

Wintersemester 2006/2007

- 08.12.2006 **Yosuke Nagase** – Betreuer: S. Hellerbrand (LNT)
Compensation of Transmission Impairments in Fiber-Optical Communication Systems
- 08.12.2006 **Qin Wang** – Betreuer: L. Coelho (LNT)
Design of Optical Communication Systems
- 08.12.2006 **Farhan Riaz** – Betreuerin: J. Weindl (LNT)
Optimal Frame Synchronization for Continuous Transmission
- 08.12.2006 **Yingyi Dong** – Betreuer: R. Vilzmann (LKN)
Multi-User Detection in Wireless Multi-Hop Networks
- 15.12.2006 **Khurram Sheikh** – Betreuer: H.M. Zimmermann (LKN)
WiFi plus WiMax – An Alternative to Cellular Systems?
- 15.12.2006 **Nabeel Sulieman** – Betreuer: P. Hanus (LNT)
Information Theory in Computational Molecular Biology
- 15.12.2006 **Muhammad Naveed ul Haq** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
Opportunistic Networks – Delay Tolerant Wireless Multi-Hop Communication
- 15.12.2006 **Ying Hou** – Betreuer: R. Nagel (LKN)
Traffic Prioritization Scheme and Performance of the 802.11e Hybrid Coordination Function

This lecture is a joint seminar of the Institute for Communications Engineering (Prof. Kötter, Prof. Hanik, LNT) and the Institute of Communication Networks (Prof. Eberspächer, LKN) and a mandatory course of the Master of Science in Communications Engineering program in the 3rd semester. The presentations are given by MSCE students. Organization: Dr. Christian Hartmann (LKN) and Timo Mayer (LNT). During the course the MSCE students are obliged to prepare a report and give a presentation on latest topics of the Communications Engineering field.

- 12.01.2007 **Ali Moaz** – Betreuer: R. Vilzmann (LKN)
Medium Access Control in Ad Hoc Networks Using a Time Synchronous Approach
- 12.01.2007 **Asmaa Hassanain** – Betreuer: H. Jenkač (LNT)
Overview and Principle of Fountain-Coding for Reliable Broadcast
- 12.01.2007 **Ktawut Tappayuthpijarn** – Betreuer: B. Göbel (LNT)
Information Rate Calculation for High-Speed Long-Haul Optical Transmission Systems
- 12.01.2007 **Viet Dinh** – Betreuer: F. Breyer (LNT)
Present State-of-the-art of Plastic Optical Fiber (POF) – Components and Systems
- 19.01.2007 **Jianglin Ding** – Betreuer: C. Hausl (LNT)
Peer to Peer Filesharing with Network Coding
- 19.01.2007 **Xiaoling Li** – Betreuer: S. Meister (LKN)
How to Provide Quality of Service (QoS) in Ad Hoc Networks
- 19.01.2007 **Muchen Wang** – Betreuer: R. Nagel (LKN)
Fully Decentralized Channel Allocation Schemes for Wireless Applications
- 19.01.2007 **Muddassir Khan** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
End-to-End Quality of Service in Wireless Networks
- 26.01.2007 **Dyuti Menon** – Betreuer: J. Dingel (LNT)
DNA as Digital Data – Communication Theory and Molecular Biology
- 26.01.2007 **Yi Xie** – Betreuer: N. Dütsch (LNT)
Inter-Cell Coordinated Resource Allocation in Wireless Packet Networks
- 26.01.2007 **Karn Chandra** – Betreuer: N. Dütsch (LNT)
Slepian-Wolf Coding using Turbo Codes
- 26.01.2007 **Tao Jin** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
Efficient Spectrum Utilization in Heterogeneous Wireless Network Environments: Spectrum Sharing

Wintersemester 2007/2008

- 07.12.2007 **Paul Emile Tawk** – Betreuer: T. Mayer (LNT)
Fountain Coding

- 07.12.2007 **Abdallah Mohammed Bou Saleh** – Betreuer: C. Hausl (LNT)
Cooperative Communication with Distributed Channel Coding
- 07.12.2007 **Anup Koyadan Chathoth** – Betreuer: D. Traskov (LNT)
Minimum-Cost Multicast over Coded Packet Networks
- 11.01.2008 **Omer Bulakci** – Betreuer: F. Breyer (LNT)
Towards 100 Gbit/s Ethernet – Development of Ethernet/Physical Layer Aspects
- 11.01.2008 **Velislava Stoyanchova Marcheva** – Betreuer: B. Göbel (LNT)
Optical System Design
- 11.01.2008 **Hussein Ahmed Al-Shatri** – Betreuer: L. Coelho, S. Hellerbrand (LNT)
Digital Signal Processing in Optical Communication Systems
- 18.01.2008 **Lin Wu** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
MAC Efficiency in MIMO Wireless LAN Systems
- 18.01.2008 **Nauman Zia** – Betreuer: J. Ellenbeck (LKN)
Radio Resource Allocation Methods for Multi-Cell OFDMA Systems
- 18.01.2008 **Dhananjay Vaidyanathan Rohini** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
Resource Assignment for the High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)
- 25.01.2008 **Juan Camilo Cardona** – Betreuer: S. Meister (LKN)
Traffic Differentiation – a Quality of Service Approach for Decentralized Wireless Networks
- 25.01.2008 **Muhammad Naseer Ul Islam** – Betreuer: Dr. Hartmann (LKN)
Time Synchronisation in Wireless Sensor Networks
- 25.01.2008 **Tushar Soni** – Betreuer: G. Zeitler (LNT)
Errors and Erasures in Network Coding
- 25.01.2008 **Arash Saber Tehrani** – Betreuer: N. Dütsch (LNT)
JPEG 2000

4

Diplomarbeiten

Master Theses Bachelorarbeiten

4.1 Diplomarbeiten des Studiengangs EI

09.11.2006 **Maxim Kuschnerov** – Betreuer: B. Göbel
The Effect of Polarization-Mode Dispersion on the Channel Capacity of Single-Mode Optical Fibers

25.01.2007 **Xiaomeng Fang** – Betreuer: J. Dingel
Reconstruction of Convolutional Encoders from Noisy Observations

25.01.2007 **Tian Li Krehle** – Betreuer: H. Jenkač, Prof. Söder,
B. Rauchhaus (Siemens AG)
Development of Evaluation Methods of the Technical and Economical Impacts of Selected 3GPP Rel. 7 Features for UMTS Network Operators

27.03.2007 **Lei Liu** – Betreuer: F. Breyer
Optimization of the Channel Model and Adaptive Linear Equalization for SI-POF Transmission Systems

19.04.2007 **Fabian Kleindienst** – Betreuer: T. Mayer
Kanalschätzung für OFDM-Turbo-BASCO

23.05.2007 **Stephan R. Keitel** – Betreuer: Prof. Söder, E. Bock, Dr. Merk (beide ESG)
Entwicklung eines Web-Portals zur Erschließung semantischer Informationen mittels Text-Mining-Verfahren

19.07.2007 **Nicolay Kokoranov** – Betreuer: B. Göbel, S. Hellerbrand
Minimum Bit-Error-Rate Equalization for Compensation of Fiber-Optic Transmission Impairments

14.08.2007 **Nora Tax** – Betreuerin: J. Weindl
Communication Theoretic Considerations of Translation in Bacteria

27.09.2007 **Elias Bouzitoun** – Betreuer: F. Breyer
Crank-Nicholson-Lösung der zeitabhängigen Power Flow Equation und Aufbau einer Simulationsumgebung für POF-Übertragungssysteme

09.10.2007 **Joschi Brauchle** – Betreuer: N. Dütsch
List-Viterbi-Decodierung von Faltungscodes

4.1 Diplomarbeiten (EI)

4.2 Master Theses (EI)

4.3 Master Theses (MSCE)

4.4 Diplomarbeiten anderer Hochschulen

4.5 Diplomarbeiten für die Studiengänge LB und DBP

4.6 Bachelor- und Studienarbeiten

Im abgelaufenen Berichtszeitraum wurden am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik 21 Diplomarbeiten für den Studienabschluss Dipl.-Ing. und acht Master Theses für den neuen Studienabschluss M.Sc. der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik durchgeführt. Vier der Absolventen mit dem Abschluss Master of Science kamen von der Tongji University in Shanghai und haben das Doppeldiplom im Rahmen des Chinesisch-Deutschen Hochschulkollegs erlangt. In den Kapiteln 4.1 und 4.2 sind die 21 Diplomarbeiten und acht Master Theses des LNT zusammengestellt.

Im Kapitel 4.3 sind diejenigen 10 Absolventen des englischsprachigen MSCE-Studiengangs aufgeführt, deren Abschlussarbeiten von LNT-Mitarbeitern betreut wurden.

Die Abschlussarbeiten von Lina Al Kanj, Eduardo Ruano Mompradé

und Maria Luisa Llompart Arregui wurden zwar offiziell von den Heimatuniversitäten in Beirut, Zaragoza und Valencia bewertet, die fachliche Betreuung lag jedoch beim LNT (siehe Kapitel 4.4). Entsprechend dazu haben zwei unserer Absolventen ihre Diplomarbeit an der University of Notre Dame in den USA bzw. an der École Polytechnique Fédérale Lausanne (EPFL) in der Schweiz durchgeführt (siehe Kapitel 10.1).

Im Kapitel 4.5 sind zwei Abschlussarbeiten im Zusammenhang mit der Berufsschullehrerausbildung aufgeführt, deren Bearbeitungszeit ebenfalls sechs Monate beträgt. Inzwischen wurde neben dem Studiengang „Lehramt an beruflichen Schulen (LB)“, der nach wie vor mit dem Staatsexamen beendet wird, ein weiterer Ausbildungszweig zum „Diplom-Berufspädagogen (DBP)“ eingeführt. In Kürze werden auch in diesem Bereich ein Bachelor- und ein Masterstudiengang eingeführt. Die Vorbereitungen laufen bereits.

Seit der Amtsübergabe von Prof. Hagenauer an Prof. Kötter zum 01.10.2006 haben somit 44 Studierende ihre wissenschaftliche Abschlussarbeiten (Diplomarbeit oder Master Thesis) bei uns abgelegt. Im Kapitel 4.6 sind schließlich die 30 im Berichtszeitraum ebenfalls von LNT-Mitarbeitern betreuten Bachelor- und Studienarbeiten aufgelistet.

Günter Söder

09.10.2007 **Bastian Bunsen** – Betreuer: C. Hausl, Dr. Schmidt (Rohde und Schwarz)
Schätzung der I/Q-Imbalance in Multi-Antennen-Systemen

23.10.2007 **Tobias Rehrl** – Betreuerin: J. Weindl
Analysis of Transcription Initiation in Higher Organisms using Information Theoretic Measures

14.11.2007 **Friedrich Kischkel** – Betreuer: J. Weindl, Dr. Dawy (American University of Beirut)
Analysis of Translation Initiation in Higher Organisms using Information and Coding Theory

29.11.2007 **Bertram Fesl** – Betreuer: B. Göbel, L. Coelho
Untersuchung und Entwicklung von Verfahren zur Reduktion nichtlinearer Störeinflüsse in kohärenten optischen Übertragungssystemen mit OFDM

20.12.2007 **Franz-Josef Kaupert** – Betreuer: Prof. Hanik, Prof. Söder
Erstellen eines Online-Tutorials zum Thema „Digital Subscriber Line“

06.02.2008 **Tobias Lutz** – Betreuer: Prof. Kötter, C. Hausl
Coding Strategies for Relay Networks with Half-Duplex Constraint

08.04.2008 **Monika Hegele** – Betreuer: Dr. Kuryshev, J. Dingel
Detektion funktionaler Zusammenhänge konservierter Genomsequenzen mittels „Phylogenetic Profiling“ und Transinformation

10.04.2008 **Jie Hou** – Betreuer: C. Hausl
Coding and Modulation for Asymmetric Bidirectional Relay Communication

10.04.2008 **Leonhard Schütz** – Betreuer: C. Hausl, G. Zeitler
Limits of Decode-and-Forward Relaying in 4G Mobile Communications

08.05.2008 **Moritz Kaiser** – Betreuer: Prof. Kötter, Prof. Costello (University of Notre Dame, USA)
A Comparison of Decoding Latency for Block and Convolutional Codes

15.07.2008 **Mohamed Hedi Abbes** – Betreuer: P. Hanus
Compression of Multiple Sequence Alignments using Evolutionary and Context Tree Models

4.2 Master Theses des Studiengangs EI

06.09.2007 **Mingjin Chen** – Betreuer: F. Breyer, Dr. Mörz (Aspien GmbH)
Doppeldiplom (Chinesisch-Deutsches Hochschulkolleg)
Simulation of an Optical Transmission System at 10 Gbit/s over Multimode Glass Fiber

06.09.2007 **Rui Wang** – Betreuer: S. Hellerbrand, Dr. Mörz (Aspien GmbH)
Doppeldiplom (Chinesisch-Deutsches Hochschulkolleg)
Electronic Equalization of Optical Communication Systems using MLSE- and MAP-Equalizers

08.11.2007 **Qin Wang** – Betreuer: L. Coelho
Impact of PMD on Phase-Modulated Optical Communication Systems with Coherent Detection

29.11.2007 **Xinnan Xu** – Betreuer: Prof. Söder, M. Winterfeld (Nokia Siemens Network GmbH)
 Investigation and Analysis of OFDM Signals within a Switching Network

02.04.2008 **Mutabdzic Duro** – Betreuer: L. Coelho, S. Hellerbrand
 Performance Evaluation of Optical Communication Systems using Multicanonical Monte Carlo Simulation

11.09.2008 **Jian Chang** – Betreuer: Prof. Hanik, B. Göbel
 Doppeldiplom (Chinesisch-Deutsches Hochschulkolleg)
 Numerical Investigation of Mode Groups in Multimode Fibers using the Finite Difference Method

15.09.2008 **Shan Xia** – Betreuer: M. Thakur
 Doppeldiplom (Chinesisch-Deutsches Hochschulkolleg)
 Development of a Network Coding Planning Tool using Linear Optimization

30.09.2008 **Stefan Müller** – Betreuer: B. Göbel
 Simulation and Optimization of 100 Gbit/s Optical OFDM Systems for Metro WDM Operation

4.3 Master Theses des Studiengangs MSCE

04.12.2006 **Saravana Alagu Balaji Sundararaj Marimuthu** – Betreuer: B. Göbel, Dr. Macris (EPF Lausanne)
 Error Correction for Adiabatic Computation

27.09.2007 **Anas Showk** – Betreuer: L. Coelho
 100 Gbit/s Ethernet Transmission using Coherent Detection and Digital Signal Processing

27.09.2007 **Dinh Thanh Viet** – Betreuer: Prof. Hanik, Dr. Wuth (Nokia Siemens Network GmbH)
 Nonlinear Feed-Forward Equalizer (FFE) and Decision-Feedback Equalizer (DFE) in Long Haul WDM Systems

09.10.2007 **Sujuan Feng** – Betreuer: Dr. Jenkač, E. Seidel (Nomor Research)
 Random Access Channel for 3GPP Long Term Evolution

10.10.2007 **Khan Muddassir** – Betreuer: Prof. Kötter, C. Hausl, Dr. Schwingenschlögl (Siemens AG)
 Opportunistic Network Coding in Wireless Networks: Evaluation and Improvements

10.10.2007 **Yi Xie** – Betreuer: C. Hausl, Prof. Kötter
 Implementation of Network Coding Strategies for Wireless Sensor Networks

12.10.2007 **Niccolò Leonardi** – Betreuer: J. Dingel
 Probabilistic Modeling of Insertion/Deletion Events in Phylogenetics

12.10.2007 **Nabeel Sulieman** – Betreuerin: J. Weindl
 Analyzing Transcriptional Regulation in Bacteria using Frame Synchronization and Probabilistic Modeling

19.09.2008 **Abdallah Bou Saleh** – Betreuer: C. Hausl
 Communication Strategies for the Two-Way Relay Channel with Fading

19.09.2008 **Paul Tawk** – Betreuer: G. Zeitler
Decoding of Turbo Codes for Maximum Extrinsic Information at Code Rates above Capacity

4.4 Diplomarbeiten/Master Theses anderer Hochschulen

27.03.2007 **Lina Al Kanj** – Betreuer: S. Hellerbrand, Prof. Hanik
American University of Beirut, Libanon
Predistortion for Compensation of Polarization Mode Dispersion in Fiber-Optic Communication Systems

30.05.2007 **Eduardo Ruano Mompradé** – Betreuer: S. Hellerbrand
Universidad de Zaragoza, Spanien
Compensation of Fiber-Optic Transmission Impairments by Predistortion for Different Modulation Formats

17.01.2008 **Maria Luisa Llompert Arregui** – Betreuer: C. Hausl, Dr. Gligorevic (DLR)
Universidad Politecnica de Valencia, Spanien
Datenlink für die Anwendung im Flughafenbereich

4.5 Diplomarbeiten der Studiengänge LB und DBP

12.11.2007 **Thomas Großer** – Betreuer: Prof. Söder, Prof. Hanik
Interaktionsmodule und Lehrvideo für das Lerntutorial LNTwww: Gaußsche Fehlerfunktionen, Diskrete Fouriertransformation, Eigenschaften von TP- und BP-Signalen

01.12.2007 **Thorsten Bürgstein** – Betreuer: Prof. Söder, Dr. Eichin
Interaktive Multimedia-Anwendungen: Symbolfehlerwahrscheinlichkeit, Phasen- und Gruppenlaufzeit

4.6 Bachelor- und Studienarbeiten

31.10.2006 **Dimitar Mitov** – Betreuer: N. Dütsch
Turbo Source Coding of Non-Binary Sources

15.12.2006 **Moritz Kaiser** – Betreuer: P. Hanus, G. Liebl
Classification of Paintings using Feature Extraction

20.12.2006 **Quanxiu Lu** – Betreuer: P. Hanus, G. Liebl
Vergleich von Verfahren zur Bildklassifizierung

30.12.2006 **Andreas Dotzler** – Betreuer: J. Dingel, P. Hanus
Classification of Evolutionary Conserved Elements using Phylogenetic Profiling

10.02.2007 **Elias Bouzitoun** – Betreuer: F. Breyer
Untersuchung von mehrstufiger Puls-Amplituden-Modulation (PAM) in einem SI-POF-Übertragungssystem

28.02.2007 **Qingqing Gong** – Betreuerin: J. Weindl
Anwendung der Transinformation zur Kartierung von Quantitative Trait Loci (QTL)

30.03.2007 **Joschi Brauchle** – Betreuer: N. Dütsch
Turbo Decoding of the Golomb Code

30.03.2007 **Danyan Ma** – Betreuer: N. Dütsch
Turbo Source Coding – Interleaver Design and Systematic Doping

24.04.2007 **Hedi Abbes** – Betreuer: Dr. Eichin, Prof. Söder
Didaktische und multimediale Aufbereitung des Kapitels „GSM“ für das
Lerntutorial LNTwww

30.04.2007 **Christian Avram** – Betreuer: T. Mayer
Gemeinsame Ressourcenzuweisung für die Aufwärtsstrecke

10.08.2007 **Dirk Pomsler** – Betreuer: B. Göbel
Einfluss der Polarisationsmodendispersion auf die Kanalkapazität optischer
Übertragungssysteme mit Direktempfänger

29.08.2007 **Jie Hou** – Betreuer: C. Hausl
Relay-Kommunikation mit hierarchischen 64-QAM-Konstellationen

28.09.2007 **Leonhard Schütz** – Betreuer: C. Hausl
Distributed Turbo Coding for the Cooperative Uplink in 4G Mobile
Communication Systems

08.10.2007 **Yueting Wu** – Betreuer: N. Dütsch
Bildcodierung mittels differentieller Pulsmodulation (DPCM)

18.12.2007 **Massud Sarwari** – Betreuer: N. Dütsch
Bildkompression mittels zweidimensionaler Transformations-
codierung

25.02.2008 **Ulli Brennenstuhl** – Betreuer: S. Hellerbrand
Electronic Equalization of Transmission Impairments in 10 Gbit/s DPSK-
Modulation Systems using MLSE

14.03.2008 **Khaled Soussi** – Betreuer: Dr. Eichin, Prof. Söder
Didaktische und multimediale Aufbereitung des Kapitels „UMTS“ für ein
Online-Lerntutorial

28.03.2008 **Nabil El Haleq** – Betreuer: B. Göbel, Prof. Söder
Interaktive Multimedia-Anwendung zum Thema „Dämpfung von
Kupferkabeln“

31.03.2008 **Hichem Kallel** – Betreuer: Prof. Söder, Prof. Hanik
Erstellen eines Online-Tutorials zum Thema „ISDN – Integrated Services
Digital Networks“

04.04.2008 **Doruk Cem Gencyilmaz** – Betreuer: B. Göbel, Prof. Söder
Ein Online-Tutorial zum Thema „Viterbi-Algorithmus“

17.04.2008 **Lydia Kraus** – Betreuer: B. Göbel, L. Coelho
Untersuchung kohärenter optischer OFDM-Übertragungssysteme mit
optischer Dispersionskompensation

29.04.2008 **Andreas Wolf** – Betreuer: N. Dütsch
Simulation einer DS-CDMA-Übertragungsstrecke mittels Simulink

21.05.2008 **Mohamed Aziz Chaibi** – Betreuer: N. Dütsch
Arithmetische Codierung von Quellen mit Gedächtnis

03.06.2008 **Shi Weijian** – Betreuer: N. Dütsch
 Bildcodierung mittels Laplace-Pyramide

19.06.2008 **Alfred Günther Hildebrandt** – Betreuer: Prof. Hanik,
 Dr. Oswald (Fraunhofer-Institut)
 Implementierung eines Demonstrators zur Übertragungsoptimierung von
 DSL-Systemen

04.08.2008 **Rainer Bodendorfer** – Betreuer: S. Hellerbrand
 Komplexitätsanalyse von elektrischen Verfahren zur Störungskompensation
 in Glasfaser-Übertragungssystemen

12.08.2008 **Johannes Andreas Schmidt** – Betreuer: Prof. Söder
 Didaktische und multimediale Aufbereitung von Orthogonal Frequency
 Division Multiplex (OFDM) für ein Online-Tutorial

22.09.2008 **Tobias Fehenberger** – Betreuer: B. Göbel
 Methods for Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of Optical OFDM
 Signals

26.09.2008 **Mohamed Sofiene Trigui** – Betreuer: N. Dütsch
 Differentielle Pulse Code Modulation

30.09.2008 **Chao Chen** – Betreuer: J. Brauchle, D. Schoppmeier (Infineon
 Technologies)
 Optimization of an xDSL Retransmission Scheme

5

Dissertationen

Einige allgemeine Informationen zu den Dissertationen

Günter Söder

From October 2006 to the end of 2008, eight research assistants of our Institute finished their Ph.D. theses. Furthermore, Prof. Hauske supervised an external Ph.D. student from the Klinikum Großhadern.

Up to now, the listing of all finished Ph.D. theses at this and the preceding Institutes, which started back in 1906, contains 199 entries. Professor Hagenauer, Chair of our Institute from 1993 to 2006, supervised till now 38 Ph.D. theses. His predecessor, Professor Marko, supervised 73 theses in the period from 1965 to 1997. Furthermore, Professor Hauske was first reviewer in 12 doctoral examinations.

Im Berichtszeitraum vom 01.10.2006 bis zum 30.09.2008 haben fünf (ehemalige) wissenschaftliche Mitarbeiter unseres Lehrstuhls ihre Promotion zum Abschluss gebracht, alle betreut von unserem ehemaligen Lehrstuhlinhaber Prof. Joachim Hagenauer. Daneben war Prof. Hauske Erstberichterstatter im Promotionsverfahren eines Stipendiaten des Graduiertenkollegs „Sensorische Interaktion in biologischen und technischen Systemen“, das am Klinikum München-Großhadern angesiedelt ist.

Daneben beinhaltet dieser Bericht auch drei Promotionsverfahren, die zwar noch im Berichtszeitraum bei der Fakultät eingereicht und von ihr angenommen wurden, deren mündliche Prüfung aber erst im letzten

Quartal 2008 stattfinden wird. Darunter ist auch die erste von unserem neuen Lehrstuhlinhaber Prof. Ralf Kötter betreute Doktorarbeit von Christoph Hausl.

In der 1906 mit *Beiträge zum Kommutierungsproblem* von Karl Waldmann beginnenden Liste der Promotionen am LNT und seiner Vorgängerinstitutionen werden die Doktoren U. Nuding, F. Schreckenbach, M. Mörz, H. Jenkač, T. Mayer, N. Dütsch, T. Stockhammer, Ch. Hausl und J. Weindl als Nummer 191 bis 199 geführt. Es gibt etliche Kandidaten, die nächstes Jahr für die Jubiläumspromotion in Frage kommen. Über die laufenden Doktorarbeiten können Sie sich im Kapitel 6 und unter www.lnt.ei.tum.de informieren.

Prof. Marko war zwischen 1965 und 1997 Erstberichterstatter bei 73 Promotionsverfahren und Prof. Hauske hatte während seiner fast 30-jährigen Professorenzeit 12 Doktoranden. Prof. Hagenauer betreute zwischen 1990 (noch als Honorarprofessor) und 2008 insgesamt 38 Doktorarbeiten. Es werden noch ein paar folgen.

Ab S. 32 finden Sie Zusammenfassungen aller Dissertationen. Danach folgt eine Liste der Promotionen, bei denen LNT-Professoren als Koreferenten mitgewirkt haben. Zunächst aber die Kurzbiografien der Kandidatin Johanna Weindl – die 8. aus dem LNT hervorgegangene „Frau Doktor“ in 102 Jahren – und der acht Kandidaten.

- **Einige allgemeine Informationen zu den Dissertationen**
- **Personalien der Doktoranden**
- **Kurzfassungen der Dissertationen**
- **Weitere Promotionsverfahren mit LNT-Beteiligung**

Dr.-Ing. Nicolas Dütsch, 1978 in Bayreuth geboren, studierte Elektro-



technik und Informationstechnik an der FAU Erlangen-Nürnberg und an der TU München. Nach seiner bei Siemens Mobile Phones angefertigten Diplomarbeit war er von Oktober 2003 bis September 2008 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und später Akademischer Rat a. Z. am LNT. In dieser Zeit beschäftigte er sich mit der robusten Quellencodierung basierend auf fehlerkorrigierenden Kanalcodes. 2004 besuchte er im Rahmen eines DAAD-Forschungsaufenthaltes die University of Delaware in Newark in den USA.

Neben der Verantwortlichkeit für das *Grundpraktikum Nachrichtentechnik* organisierte Dr. Dütsch das 4. Internationale Turbo Symposium, das im April 2006 in München stattfand. Seit Oktober 2008 ist er in Frankfurt bei der d-fine GmbH im Bereich des quantitativen Risikomanagements und in dessen technischer Realisierung tätig.

Dr.-Ing. Christoph Hausl, geboren 1979 in München, studierte ab 1999



Elektro- und Informationstechnik an der TU München und der University of Sussex in England. Seit 2004 ist er am LNT als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig, seit 2007 als Akademischer Rat a. Z.. Er bearbeitete in enger Kooperation mit DoCoMo Eurolabs das Forschungsprojekt „Channel Coding and Modulation for 4G Mobile Radio Systems“. Sein Forschungsschwerpunkt ist der Code-Entwurf für den Fehlerschutz

in drahtlosen Relaisnetzen mit gemeinsamer Betrachtung von Netz- und Kanalcodierung.

In der Lehre assistiert er beim Grundpraktikum Nachrichtentechnik, für das er auch den Versuch *Diversität im Mobilfunk* konzipiert und realisiert hat. Zudem organisiert er seit 2004 das Wahlpflichtpraktikum *Communications Laboratory* für den MSCE-Studiengang. Im Sommersemester 2008 betreute Dr. Hausl zusätzlich die Vorlesung *Nachrichtentechnik 1*. Auch nach seiner Promotion wird er weiterhin in der Netzcodiergruppe arbeiten.

Dr.-Ing. Hrvoje Jenkač wurde 1976 in Braunschweig geboren. Nach dem



Abitur studierte er Elektro- und Informationstechnik an der TU München. 2002 wurde er für herausragende Ergebnisse in seiner Diplomarbeit mit dem „Werner von Siemens Excellence Award“ ausgezeichnet. 2001 wurde H. Jenkač wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT, wo er schon vorher als Werkstudent tätig war. Er beschäftigte sich insbesondere mit Fehlerschutzverfahren für Multimedia-Übertragung im Mobilfunk und bearbeitete mehrjährig zahlreiche Industrieprojekte für die Siemens AG sowie später für BenQ Mobile. Zudem war er am DFG-Forschungsprojekt „Echtzeitübertragung und Streaming von Video in paketorientierten drahtlosen Mehrbenutzer-Netzwerken“ beteiligt, das gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Kommunikationsnetze (LKN) durchgeführt wurde. 2006 absolvierte er einen mehrmonatigen Auslandsaufenthalt bei der Fa. Digital Fountain Inc. in Kalifornien, USA.

Dr. Jenkač betreute ca. 30 Diplomanden und Werkstudenten. In der Lehre war er während seiner gesamten Assistentenzeit für die Vorlesung *Nachrichtentechnik 2* und einen Praktikumsversuch zuständig. Im Sommer 2007 übernahm er auch die Übung zu *Nachrichtentechnik 1*. Seit Dezember 2007 ist er als Unternehmensberater bei The Boston Consulting Group mit Sitz in München tätig.

Dr.-Ing. Timo Mayer, geboren 1980 in Mutlangen im Ostalbkreis, studierte Elektro- und Informationstechnik an der TU München und an der University of Michigan in Ann Arbor, USA. Neben seinem Diplomab-



schluss wurde er auch zum M. Sc. graduiert. Danach war Timo Mayer von 2005 bis 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT und bearbeitete in Kooperation mit der Siemens AG das Projekt „High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA) for UMTS“ und er war als Nachfolger von F. Schreckenbach verantwortlich für das europäische Network of Excellence in Wireless Communications – NEWCOM.

In der Lehre betreute Dr. Mayer die Vorlesung *Kanalcodierung*, das Hauptseminar *Digitale Kommunikationssysteme* und zwei Praktikumsversuche für den Studiengang EI. Er assistierte auch bei den Veranstaltungen *Channel Coding* und *Seminar on Topics in Communications Engineering* im englischsprachigen MSCE-Programm. Seit Mai 2008 ist Dr. Mayer bei Rohde & Schwarz in München in der Abteilung Digitale Signalverarbeitung tätig.

Dr.-Ing. Matthias Mörz, 1970 in Dillingen an der Donau geboren, absolvierte ab 1987 eine Berufsausbildung zum Industrie-elektroniker. Ab 1993 studierte er an der TU München Elektrotechnik und



Informationstechnik. 1999 kam er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an den LNT und bearbeitete ein Industrieprojekt mit Bell Labs, Lucent Technologies im Bereich der analogen Decodierung. Während dieser Zeit verbrachte er verschiedene Auslandsaufenthalte bei Bell Labs in Großbritannien und den USA, wo er verschiedene Decoderchips implementierte. In der Lehre betreute er über mehrere Jahre die Vorlesung *Mobile Communications* sowie das Hauptseminar *Mobilkommunikation und Codierung*.

2005 gründete Dr. Mörz die Fa. *aspien GmbH* (Advanced Signal Processing Solutions) mit Sitz in München, die er seitdem als Geschäftsführer leitet. Im September 2008 wurde er an der Hochschule für angewandte Wissenschaften – FH Coburg zum Professor für hardwareorientierte Nachrichtentechnik mit dem Schwerpunkt Signalverarbeitung, Sensorik und Elektronik ernannt.

Dr.-Ing. Ulrich Nuding wurde 1977 in Aalen geboren. Von 1997 bis 2002



studierte er Elektro- und Informationstechnik an der TU München mit dem Schwerpunkt Kybernetik. Nach dem Studium war er bis 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Medizinische Psychologie der LMU München. Hierbei entstand im Rahmen des interdisziplinär orientierten DFG-Graduiertenkollegs „Sensorische Interaktion in biologischen und technischen Systemen“ die von Prof. Hauske betreute Doktorarbeit.

Seit 2005 arbeitet Dr. Nuding im *Bernstein Center for Computational Neuroscience* am Universitätsklinikum in München-Großhadern. Das Projekt untersucht die neuronale Regelung von Augenbewegungen beim Menschen, im Speziellen die nicht-lineare Modulation primärer sensorischer Eingänge bei langsamer Augenfolgebewegung.

Dr.-Ing. Frank Schreckenbach, geboren 1976 in Grenoble (Frankreich),



studierte ab 1996 an der TU München in der Fakultät Elektro- und Informationstechnik und war während dieser Zeit auch ein Semester am

Virginia Polytechnic Institute der State University in den USA. Danach war er von 2002 bis 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT. Er bearbeitete hierbei in Kooperation mit DoCoMo Eurolabs das Forschungsprojekt „Channel Coding and Modulation for 4G Mobile Radio Systems“ und organisierte das europäische Pro-

jekt NEWCOM – Network of Excellence in Wireless **COM**munication. Im Winter 2005/2006 forschte er für drei Monate beim *National Information and Communications Technology Australia Centre* (NICTA) in Canberra.

Frank Schreckenbach war über Jahre Dozent der englischsprachigen MSCE-Vorlesung *Channel Coding* und betreute außerdem verschiedene Praktika. Seit Januar 2007 ist er am Institut für Kommunikation und Navigation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Bereich der aeronautischen Kommunikation tätig, die mit dem gleichnamigen Lehrstuhl an der TU München eng kooperiert.

Dr.-Ing. Thomas Stockhammer, geboren 1971 in Traunstein, studierte



ab 1991 Elektro- und Informationstechnik an der TU München. Ab 1996 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am LNT. Er arbeitete unter anderem

auf dem Gebiet der mobilen Videoübertragung. In der Lehre betreute und modernisierte er das *Grundpraktikum Nachrichtentechnik*. Er verbrachte Forschungsaufenthalte am Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York, und an der University of San Diego (USCD).

Seit 2004 ist Thomas Stockhammer einer der Geschäftsführer von Novel Mobile Radio Research – kurz NoMoR, die er mitgegründet hat. Diese Firma ist auf die Beratung im Bereich Kommunikationstechnik sowie die Entwicklung von komplexer Simulations- und Demonstrationssoftware für neue Mobilfunksysteme (HSxPA, MBMS, WiMaX, LTE, etc.) spezialisiert. Außerdem war er mehrere Jahre für Siemens Mobile Devices und BenQ mobile beratend tätig und er repräsentiert Digital Fountain, Inc. in den Bereichen IPTV, Mobile TV und mobiler Datenübertragung bei Forschungs- und Standardisierungsbelangen weltweit.

Dr. Stockhammer ist Mitautor von ca. 120 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Tagungsbänden sowie von einigen Buchkapiteln. Er ist

Gutachter, Mitglied in verschiedenen Programmkomitees und nimmt regelmäßig an den Standardisierungsaktivitäten für JVT, ITU-T, IETF, 3GPP und DVB teil. Als Editor verschiedener Spezifikationen hat er mehr als 300 Beiträge verfasst.

Dr.-Ing. Johanna Weindl, 1981 in Starnberg geboren, studierte von



2000 bis 2005 an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU München. Sie verbrachte in dieser Zeit Auslandsaufenthalte an der spanischen Universidad

Politécnica de Cartagena und der American University of Beirut im Libanon. Anschließend war sie von 2006 bis 2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin am LNT. Als Mitglied der von Prof. Hagenauer geleiteten interdisziplinären ComInGen-Gruppe (*Communication and Information Theory in Genetics*) befasste sie sich mit Rahmensynchronisationsvorgängen während der Genexpression (Proteinsynthese). Im Sommer 2008 besuchte sie im Rahmen eines zehnwöchigen Forschungsaufenthalts die University of Haifa in Israel.

Johanna Weindl war von Beginn an eine der Dozenten der Vorlesung *Kommunikations- und Informationstheorie in der Genetik* und betreute zudem den Versuch *Analoge Modulationsverfahren* im Grundpraktikum Nachrichtentechnik. Gemeinsam mit Bernhard Göbel organisierte sie das Projekt CITPER (*Collaborative IT Program for Education and Research*), eine von der Europäischen Union geförderte Kollaboration mit der American University of Beirut, der University of Southampton (UK) und der Siemens AG.

Nichtlineare Informationsverarbeitung im visuellen System: Analyse, Synthese und Identifikation

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Wolf

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Gert Hauske

2. Bericht: Prof. Dr. techn. Josef A. Nossek

Tag der mündlichen Prüfung: 06.02.2007

This work is concerned with the analysis and modeling of certain non-linear aspects of human visual information processing. Cells in the higher visual areas of primates (visual cortices V1–V4) exhibit several non-linear features like phase invariance, end-stopping, and selectivity for complex shapes (corners, curvatures, etc.). The understanding of these nonlinear response behaviors has to be sought in different approaches.

First, explicit descriptions in state-space can describe the probability distribution of the source (natural images), the nonlinear neuronal processing, and the interrelations between the two, but are restricted to very low-dimensional spaces. Second, neuronal network models constitute an implicit description, but can account for a variety of properties of higher visual neurons when trained to optimize the statistical structure of natural images. Third, important insights are gained using polynomial approaches. On the statistical side, this amounts to natural image analysis using higher-order spectra, whereas on the processing side, Volterra-Wiener systems are used to model several functional aspects of visual information processing. The major contributions of this work are the application of different approaches to visual information processing and the comparison of these.

This thesis was published 2007 by the VDM-Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, ISBN 3836433990.

Die Arbeit befasst sich mit der Analyse und der Modellierung bestimmter Aspekte der nichtlinearen Informationsverarbeitung im visuellen System des Menschen. Zellen in höheren visuellen Arealen von Primaten

(visuelle Kortexes V1–V4) weisen einige nichtlineare Merkmale wie z. B. Phaseninvarianz, Endinhibition und Selektivität für komplexe Formen (Ecken, Krümmungen, etc.) auf. Um zu einem Verständnis für diese Verarbeitungseigenschaften zu gelangen, werden in dieser Arbeit unterschiedliche Ansätze untersucht.

Eine explizite Beschreibung in Zustandsraumkoordinaten kann die Quellenstatistik natürlicher Bilder, die nichtlineare neuronale Verarbeitung und den Zusammenhang dieser vollständig beschreiben, ist jedoch auf niedrigdimensionale Räume beschränkt. Neuronale Netze hingegen erlauben lediglich eine implizite Beschreibung, da hier typischerweise Projektionen der Wahrscheinlichkeitsdichten betrachtet werden und keine einfache Interpretation im Sinne funktionaler Modelle möglich ist. Einige der Eigenschaften kortikaler Neuronen können jedoch synthetisiert werden, wenn die Gewichte anhand der Statistik natürlicher Bilder optimiert werden.

Wesentliche Einblicke werden durch die Verwendung polynomialer Ansätze gewährt. Dies entspricht einerseits der Analyse der Statistik natürlicher Bilder mittels Spektren höherer Ordnung (sog. Polyspektren) und andererseits der Modellierung funktionaler Aspekte der visuellen Informationsverarbeitung mit Hilfe der Volterra-Wiener-Systemtheorie.

In dieser Dissertation wird die Zustandsraumdarstellung verwendet, um experimentell beobachtete, sogenannte „extra-klassische“ Effekte zu erklären, und um die verwendeten unterschiedlichen Ansätze qualitativ miteinander vergleichen zu können. Da gezeigt werden kann, dass eine bestmögliche lineare Aufspaltung (Wavelet-Zerlegung) natürlicher Bil-

der nicht zum Optimum der statistischen Unabhängigkeit führt, wird eine mehrschichtige nichtlineare neuronale Architektur an die Statistik natürlicher Bilder angepasst. Die technische Relevanz dieses Ansatzes wird nachgewiesen, indem das System zur Codierung natürlicher Bilder verwendet wird und dessen Eigenschaften mit einem linearen Pendant verglichen werden. Zudem werden die nichtlinearen Verarbeitungseigenschaften des Systems analysiert und die Ähnlichkeit zur neuronalen Informationsverarbeitung im visuellen Kortex evaluiert.

Ein substantieller Teil der Arbeit befasst sich mit der Analyse und Modellierung unter Verwendung von polynomialen Ansätzen. Das Schlüsselkonzept hierbei stellen UND-artige Verknüpfungen zwischen Frequenzkomponenten mit unterschiedlicher Orientierung dar – eine notwendige Bedingung für die Selektivität für intrinsisch zweidimensionale Bildmerkmale wie Ecken, Krümmungen, etc.. Es wird gezeigt, dass eine derartige Basisselektivität andere Antwortcharakteristika zur Folge hat und dass diese auch im Sinne einer statistischen Signalverarbeitung optimale Eigenschaften besitzt. So wird ein System zur Dekorrelation höherer Ordnung gelernt und empirisch gezeigt, dass dieses auf ein 2D-selektives System konvergiert.

Die Bedeutung der Arbeit liegt in der Anwendung unterschiedlicher Ansätze auf die neuronale visuelle Informationsverarbeitung, dem Vergleich dieser Ansätze, sowie dem Nachweis der Relevanz von Interaktionen zwischen frequenzspezifischen Kanälen im visuellen System.

Die Dissertation ist 2007 beim VDM-Verlag Dr. Müller in Saarbrücken erschienen.

Iterative Decoding of Bit-Interleaved Coded Modulation

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Alexander W. Koch

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Joachim Speidel (Universität Stuttgart)

Tag der mündlichen Prüfung: 14.05.2007



This thesis addresses techniques for wireless communication systems to transmit high data rates with high reliability. The investigations are focused on the bit-interleaved coded modulation (BICM) system that is the serial concatenation of a channel encoder, an interleaver and a symbol mapper for high order modulation. The performance of BICM can be greatly improved through iterative information exchange between the demapper and the decoder at the receiver. This system is usually referred to as BICM with iterative decoding (BICM-ID).

The major contributions of this work are the study of the iterative BICM receiver and the investigation of modulation techniques to improve the adaptability and performance of the system. First, properties of decoder and demapper EXIT functions are derived to gain additional insights on the convergence of the iterative BICM receiver. Then, the focus is on mapping techniques, i.e. on the assignment of bit sequences to signal points of a high order signal constellation. Methods to characterize and optimize mappings for a variety of applications are investigated. It is shown that the optimization of mappings can be cast to a quadratic assignment problem and solved using a simple switching algorithm. Cost functions based on an Euclidean distance spectrum, error bounds and mutual information measures are proposed. The main results are mappings optimized for iterative receivers. In contrast, Gray mappings are optimized for systems without iterative demapping/decoding. The optimization approach can be used to derive optimized mappings for further applications, e.g. equal or unequal error protection, multi-dimen-

sional mappings or mappings for ARQ. Along the same line of thought, the combination of different signal constellations and mappings within one code word, non-unique mappings and superimposed mappings are investigated to improve the adaptability and performance of the system using modulation techniques.

This thesis was published in September 2007 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

In der Dissertation werden Methoden für drahtlose Kommunikationssysteme untersucht, die bei der Informationsübertragung sowohl eine hohe Datenrate als auch eine große Zuverlässigkeit ermöglichen. Insbesondere wird das Bit-Interleaved Coded Modulation (BICM) System betrachtet, das aus der seriellen Verkettung eines Kanalcoders, eines Interleavers sowie einer Abbildung der Bits auf Symbole einer höherstufigen Signalraumkonstellation (Mapping) besteht. Die Leistungsfähigkeit von BICM kann durch iterativen Informationsaustausch zwischen Demapper und Decoder stark verbessert werden. Dieses System wird meist als BICM mit iterativer Decodierung bezeichnet (BICM-ID).

Die Hauptbeiträge dieser Arbeit sind die Untersuchung des iterativen BICM-Empfängers und die Entwicklung von Modulationstechniken, um die Anpassungs- und Leistungsfähigkeit des Systems zu verbessern.

Zuerst werden Eigenschaften der EXIT-Funktionen für Decoder- und Demapper abgeleitet, wodurch zusätzliche Einblicke in das Konvergenzverhalten des iterativen BICM-Empfängers erlangt werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf den Mapping-Techniken. Es werden Methoden untersucht, um Mappings

für eine Vielzahl von Anwendungen zu beschreiben und zu optimieren. Dabei wird gezeigt, dass die Optimierung von Mappings auf ein sog. quadratisches Zuordnungsproblem abgebildet und mit Hilfe eines einfachen binären Tausch-Algorithmus gelöst werden kann. Weiter werden Kostenfunktionen vorgeschlagen, die auf einem Euklidischen Distanzspektrum, Fehlerschranken und einem Maß der Transinformation basieren.

Das wichtigste Ergebnis der Dissertation sind optimierte Mappings für iterative Empfänger, während das allgemein bekannte Gray-Mapping für Empfänger ohne iterativen Informationsaustausch zwischen Demapper und Decoder optimiert wurde. Die beschriebenen Methoden kann man verwenden, um optimierte Mappings für weitere Anwendungen abzuleiten: Mappings für gleichen und ungleichen Fehlerschutz der einzelnen Bitpositionen, für ARQ und mehrdimensionale Mappings.

Des Weiteren wird in der Arbeit Bit-Interleaved Coded Irregular Modulation (BICIM) vorgeschlagen, in dem verschiedene Signalraumkonstellationen und Mappings innerhalb eines Codewortes kombiniert werden, um eine verbesserte Anpassungsfähigkeit des Systems an den Kanalzustand und die Anwendung zu erreichen. Mehrdeutige Mappings sind geeignet, um die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Symbole durch die Zuordnung einer unterschiedlichen Anzahl von Bitfolgen auf die einzelnen Symbole anzupassen. Damit ist auch mit hohen Datenraten eine zuverlässige Informationsübertragung nahe an der Shannonschen Kapazitätsgrenze möglich.

Die Dissertation ist 2007 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erschienen.

Analog Signal Processing in Forward Error Correction (FEC) Decoders

Vorsitzender: Prof. Dr. sc. techn. Andreas Herkersdorf

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Norbert Wehn (Universität Kaiserslautern)

Tag der mündlichen Prüfung: 19.07.2007

This work deals with a new type of analog signal processing in the forward error correction (FEC) decoder of a digital communication system. FEC decoders are traditionally implemented using digital signal processors (DSPs), field programmable gate arrays (FPGAs) or digital application specific integrated circuits (ASICs).

The high data rates in modern communication systems with hundreds of megabits per second or even gigabits per second make it more challenging to realize such decoders by means of digital signal processing. In fact, for many high-speed applications it is nowadays not feasible to implement digital decoders for powerful FEC schemes due to area (i.e., cost) and power constraints.

Power consumption is critical for both wireless and wire-line applications because of battery life and/or heat dissipation in highly integrated circuits. Furthermore, processing delay is often constrained by the application. Analog decoders are expected to outperform digital decoders by up to several orders of magnitude in terms of speed, area and/or power consumption.

In this work, FEC decoders are characterized by normal graphs introduced by Forney. Modified normal graphs represent analog decoding networks in a manner similar to a block diagram. Analog decoders are studied based on a comprehensive simulation environment including system-level and circuit-level simulation models.

Different decoder architectures are considered. This includes fully parallel decoders and decoders based on a new sequential technique for complexity reduction, which is examined

for the example of the UMTS turbo code. A library of analog transistor circuits is presented which is suited for the realization of arbitrary analog decoders.

As a proof of concept, two prototypes of analog decoders were successfully fabricated in 0.25 μm BiCMOS and 0.25 μm SiGe. Finally, analog low-density parity-check (LDPC) decoders in 0.18 μm CMOS are investigated for an application in the next generation wireless local area network IEEE 802.11n.

This thesis was published through the library of the Munich University of Technology (TUM) and is available for download at www.ub.tum.de.

Die Dissertation beschäftigt sich mit einer neuartigen analogen Signalverarbeitung im Kanaldecoder eines digitalen Kommunikationssystems. Kanaldecoder, auch FEC-Decoder genannt, werden traditionell auf digitalen Signalprozessoren (DSPs), Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) oder durch anwendungsspezifische digitale Schaltungen (ASICs) implementiert.

Die hohen Datenraten moderner Kommunikationssysteme mit Hunderten von Mbit/s oder sogar mehreren Gbit/s machen eine digitale Decoderrealisierung immer schwieriger. Aufgrund von gegebenen Beschränkungen bezüglich Fläche zur Kostenreduzierung und der Leistungsaufnahme ist es heute für viele Hochgeschwindigkeitsanwendungen nicht möglich, leistungsfähige FEC-Verfahren zu implementieren. Kritisch ist insbesondere die Leistungsaufnahme, die sowohl bei drahtlosen als auch bei leitungsgebundenen Anwendungen durch die Akkulaufzeiten und die Wärmeabgabe begrenzt

ist. Darüber hinaus sind häufig auch Grenzen für die zeitliche Verzögerung durch die Signalverarbeitung im Decoder zu beachten. Analoge Schaltungen können hierbei im Vergleich zu digitalen Decodern Vorteile von bis zu mehreren Größenordnungen bezüglich der Verarbeitungsgeschwindigkeit, der Fläche und der Leistungsaufnahme erreichen.

In der vorliegenden Dissertation werden FEC-Decoder durch so genannte Normal Graphs beschrieben, die auf Forney zurückgehen. Modifizierte Normal Graphs repräsentieren analoge Decodernetzwerke auf eine ähnliche Art und Weise wie ein Blockdiagramm.

Zur Untersuchung solcher analoger Kanaldecoder wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, welche verschiedene Simulationsmodelle auf System- bzw. auf Schaltungsebene beinhaltet. Neben parallelen Decoderarchitekturen werden auch neue sequentielle Verfahren zur Komplexitätsreduzierung betrachtet und am Beispiel des Turbocodes für UMTS näher untersucht. Zudem wird eine Bibliothek von analogen Transistorschaltungen vorgestellt, mit der sich beliebige analoge Decoder realisieren lassen.

Das Grundkonzept der analogen Decodierung wurde durch die erfolgreiche Fertigung zweier Prototypen in 0,25 μm BiCMOS- und 0,25 μm SiGe-Technologie nachgewiesen. Schließlich werden in der Dissertation analoge LDPC-Decoder in 0,18 μm CMOS-Technik untersucht, die auf eine Anwendung in zukünftigen drahtlosen Netzwerken nach IEEE 802.11n zielen.

Die Dissertation ist bei der Bibliothek der TU München veröffentlicht und kann unter www.ub.tum.de heruntergeladen werden.

Fehlerschutz für Multimedia-Broadcast im Mobilfunk

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

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Steinbach

Tag der mündlichen Prüfung: 02.08.2007



Conventionally, in cellular wireless communication systems, each receiver gets an individual physical transmission resource assigned on the air interface. However, if identical contents need to be distributed to multiple receivers, efficient transmission schemes will be favored. Motivated by the natural broadcast characteristics of the wireless channel, transmission resources are exploited more efficiently by the use of a broadcast transmission mode.

Therefore, the 3GPP standardization body started the definition of Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS) for GSM and UMTS. MBMS aims at simultaneous delivery of identical contents from one base station to multiple receivers. The transmission is foreseen in the downlink only, utilizing a common radio resource.

Wireless broadcast environments with mobile receivers are characterized by a heterogeneous receiver population with diverse receiving conditions. Since individual link adaptation (i.e., adaptation of the coding and modulation scheme) is not possible in the broadcast mode, high loss rates are expected in an unmodified system. Therefore, new or additional error protection or coding schemes are necessary with the aim of achieving sufficient quality-of-service.

This thesis investigates error control schemes which become necessary with the introduction of broadcast transmission onto the air interface of cellular mobile systems. In particular, error control schemes for two different delivery types over broadcast channels, i.e., download and streaming, are considered. In this context, both simultaneous and time-shifted reception of receivers are addressed. The investigations are based on an

abstracted system model following the MBMS scenario. For scenarios with simultaneous reception, first, additional forward error correction coding on various system layers are considered and compared to each other. Second, retransmission schemes, which are suitable for broadcast environments, are detailed. For enabling time-shifted reception among distinct receivers, suitable pre-processing and coding schemes are discussed. In particular, uncoded and coded data carousels, fountain codes as well as broadcast-media-on-demand schemes are investigated and compared to each other, with a focus on soft-decoding.

This thesis was published in August 2007 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Herkömmlich wird in zellularen Mobilfunksystemen jedem Empfänger auf der Luftschnittstelle ein eigener physikalischer Übertragungskanal zugewiesen. Sollen jedoch identische Inhalte an zahlreiche Empfänger innerhalb derselben Zelle übertragen werden, so sind effiziente Übertragungsverfahren von Vorteil. Vor allem aufgrund der ohnehin natürlichen Broadcast-Charakteristik des Funkkanals können bei einer Rundfunkausstrahlung die Ressourcen effizienter genutzt werden.

Aus diesen Gründen wurde innerhalb der 3GPP-Standardisierung die Definition von Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS) für GSM und UMTS vorangetrieben. MBMS zielt auf die gleichzeitige Verteilung identischer Dateninhalte von einer Basisstation zu mehr als einem Empfänger ab. Die Datenübertragung ist dabei ausschließlich auf der Abwärtsstrecke vorgesehen und erfolgt über eine gemeinsame Ra-

dio-Ressource. Drahtlose Rundfunk-Umgebungen mit mobilen Empfängern sind vor allem durch eine heterogene Empfängerpopulation mit äußerst unterschiedlichen Empfangsbedingungen gekennzeichnet. Nachdem bei einer Broadcast-Übertragung eine individuelle Link-Adaption – also ein Nachführen von Codier- und Modulationsschema – nicht möglich ist, ergeben sich bei einem unveränderten System unvermeidbar hohe Verlustraten. Dementsprechend besteht großer Handlungsbedarf.

In dieser Arbeit werden Fehler-schutzverfahren untersucht, die im Zuge der Erweiterung von zellularen Mobilfunksystemen um einen Modus für Broadcast-Übertragung auf der Luftschnittstelle erforderlich werden. Insbesondere werden geeignete Fehler-schutzmechanismen für die beiden Übermittlungsformen „Download“ und „Streaming“ untersucht. Die Untersuchungen erfolgen anhand eines abstrahierten Systemmodells, das sich an das MBMS-Szenario anlehnt. Für den zeitgleichen Empfang wird einerseits die Einführung zusätzlicher Vorwärtsfehlerschutzverfahren auf verschiedenen Systemschichten miteinander verglichen, und andererseits werden für Broadcast geeignete Rückübertragungsverfahren betrachtet. Um zeitversetzten Empfang zu ermöglichen, werden geeignete Vorverarbeitungs- und Codierverfahren diskutiert. Dazu werden uncodierte und codierte Datenkarusselle, Fontänen-codes sowie Broadcast-Media-on-Demand-Verfahren mit Fokus auf Soft-Decodierung untersucht und miteinander verglichen.

Die Dissertation erschien im August 2007 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“.

Cellular Base-Station Cooperation with Turbo Interference Cancellation

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

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Koch (Universität Erlangen-Nürnberg)

Tag der mündlichen Prüfung: 11.03.2008

The thesis is concerned with base station cooperation schemes for cellular communication systems in order to mitigate interference.

In general, all base stations are connected to a common backbone network. Therefore, they are able to exchange information, and, thus, cooperation between base stations is feasible. Consequently, a joint detection, which is distributed across the cell boundaries, is proposed. This allows intercell interference cancellation at the receiver side. The exchanged information between the base stations is fed to a Turbo receiver and is processed cooperatively. The information for cooperation, which is necessary to be exchanged, is identified. Moreover, the resulting network load and delay for capacity-limited cooperation links are determined.

In this context, a variety of different fields is explored, such as information theory, link level processing, and system level considerations. Finally, a case study is presented, and it is shown how the proposed schemes can be applied to the cellular system EDGE.

This thesis was published in spring 2008 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Die Arbeit untersucht Kooperationsmethoden zwischen Basisstationen zellulärer Mobilfunksysteme mit dem Ziel der Interferenzbekämpfung. Nachdem die Basisstationen meist durch ein Netz verbunden sind, ist ein Informationsaustausch zwischen diesen möglich und damit eine Base-Station Cooperation (BASCO) durchführbar. Infolgedessen wird in dieser Dissertation eine gemeinsame und über mehrere Funkzellen verteilte Signaldetektion vorgeschlagen, wo-

mit eine ausreichende empfangs- seitige Interzell-Interferenzreduktion erzielt wird.

Die zwischen den Basisstationen ausgetauschten Informationen werden anschließend einem gemeinsamen Turbo-Empfänger zugeführt und kooperativ verarbeitet. Die zum Austausch benötigte Kooperationsinformation wird ermittelt, und es werden die entstehende Netzlast sowie die Verzögerung für kapazitätsbegrenzte Kooperationskanäle bestimmt. In diesem Zusammenhang werden einerseits informationstheoretische Analysen, andererseits aber auch Link- und System-Level-Betrachtungen vorgenommen.

In der Dissertation werden informationstheoretischen Grenzen für die vorgeschlagenen Netzwerke hergeleitet, die zumindest theoretisch erreicht werden können. Dazu werden zunächst ein Multi-Access- und später ein Makro-Diversitäts-Kanal betrachtet. Anschließend werden die Gewinne durch Kooperation mit optimalen und unterschiedlichen suboptimalen Zugriffsverfahren hergeleitet. Der Fokus liegt schließlich auf den realistischen Fällen, bei denen die Kapazitäten der Links, auf denen Kooperationen stattfinden, nur endlich groß sind. Zudem werden die informationstheoretischen Gewinne aufgezeigt, wenn bei den untersuchten Netzen „Interference Cancellation“ (IC) angewandt wird.

Für die Link-Level-Betrachtungen wird zunächst ein konventioneller Turbo-Code untersucht, bei dem jedoch die extrinsische Information zwischen den Komponentendecodern lediglich in quantisierter Form ausgetauscht wird. Dies dient dazu, Einblicke in die quantisierte Soft-Decodierung zu erhalten, da viele der in dieser Arbeit betrachteten Al-

gorithmen auf diesem Prinzip basieren.

Nach der Untersuchung konventioneller IC-Algorithmen werden unterschiedliche Kooperationskonzepte vergleichend gegenübergestellt. Zusätzlich wird in der Dissertation ein neuer, iterativer Algorithmus zur Interferenzunterdrückung vorgeschlagen, analysiert und optimiert, der im Folgenden als *Turbo Base-Station Cooperation* (Turbo-BASCO) bezeichnet wird.

Im Anschluss daran werden Variationen und daraus resultierende praktische Herausforderungen an den Turbo-BASCO angeführt. Beispielsweise wird aufgezeigt, wie man das Turbo-BASCO-Prinzip mit anderen iterativen Prozessen verbinden kann und wie man diese neue Art der Kooperation auf OFDM-Systeme anwenden kann. Die praktischen Herausforderungen beziehen sich dabei unter anderem auf den Austausch von quantisierter Soft-Information durch ein übergeordnetes Netzwerk, aber auch auf die zusätzliche Netzlast und die zusätzliche Verzögerung durch solch ein gemeinsames Schema.

Schließlich werden noch System-Level-Betrachtungen angestellt und es werden die damit verbundenen Anpassungen an ein zelluläres System bestimmt. In einer Fallstudie wird gezeigt, wie die vorgeschlagenen Techniken beim zellulären Mobilfunksystem EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) angewendet werden können. Die hierfür benötigten Erfordernisse werden angegeben und die möglichen Störabstandsgewinne ermittelt.

Die Dissertation ist im Frühjahr 2008 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erschienen.

Robust Source Coding based on Forward Error Correcting Codes (FEC Source Coding)

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander W. Koch

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Steinbach

Tag der mündlichen Prüfung: 02.07.2008



A data compression method, which is based on heavily punctured channel codes, is treated in this thesis. In contrast to conventional source codes, the approach does not suffer from error propagation because erroneous code-words can be corrected by iterative decoding. Lossless data compression is guaranteed since the compressed sequence is already reconstructed at the source encoder and compared with the original sequence.

The main contribution of this thesis is the analysis of the source coding method with respect to the encoding speed, compression performance and robustness against additional errors. Furthermore, the investigated approach is applied to sources with memory as well as sources with a high-order symbol alphabet.

The encoding complexity is controllable and improved by the introduction of a novel puncturing algorithm called Successive Rate Refinement. Moreover, the error compensating source coding routine is analyzed and optimized by means of EXIT charts. Data compression of statistically independent non-binary source symbols can be performed by the integration of non-binary channel codes. An alternative approach is a sophisticated mapping of the source symbols to binary sequences that are processed successively. Finally, the compression method based on error correcting codes is concatenated with a source decoder. Additional information is provided by the source model, and the reconstruction process of the source sequence is accordingly supported.

The thesis was published in July 2008 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Diese Dissertation handelt von einem Datenkompressionsverfahren, das auf stark punktierten, fehlerkorrigierenden Kanalcodes basiert. Im Gegensatz zu konventionellen Quellencodes leidet diese Methode nicht unter Fehlerfortpflanzung, da fehlerhafte Codewörter in einem gewissen Maße durch iterative Decodierung korrigiert werden können. Indem senderseitig die codierte Nachricht zu Testzwecken wiederhergestellt wird, kann eine verlustlose Kompression sichergestellt werden.

Die Hauptbeiträge dieser Arbeit sind die Analyse des Kompressionsverfahrens in Bezug auf Codiergeschwindigkeit, Kompressionseffizienz und Robustheit gegenüber zusätzlichen Fehlern sowie die Synthese von geeigneten Quellencodes. Weiterhin wird das entwickelte Quellencodierverfahren auch zur Kompression von Quellen mit Gedächtnis als auch für höherwertige Symbolalphabete adaptiert. Diese Quellentypen beschreiben beispielsweise Text, Sprache oder Bilder.

Durch die Einführung eines neuartigen, auf einem Baum basierenden Punktialgorithmus wird die Codierkomplexität kontrolliert und auch reduziert. Es zeigt sich im Vergleich zum ursprünglichen Algorithmus eine Geschwindigkeitsverbesserung von 98%. Das fehlerkorrigierende Quellencodierverfahren wird weiterhin mittels EXIT-Charts analysiert. Da die Fläche des Tunnels im EXIT-Chart proportional zur Differenz von Kompressionsrate und Entropie der Quelle ist, gilt es, diese Fläche zu minimieren, um effiziente Codes zu synthetisieren.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Arbeit ist, dass sich irreguläre „Repeat-Accumulate Codes“ hervorragend zur Codeoptimierung eignen.

Die verbleibende Restredundanz kann auf diese Weise von ca. 15% auf 7% bis 8% gesenkt werden.

Die Kompression von statistisch unabhängigen nichtbinären Quellsymbolen erfolgt entweder durch den Einsatz nichtbinärer Kanalcodes oder durch ein geschicktes Mapping der Symbole auf binäre Sequenzen, welche parallel oder sukzessive verarbeitet werden. Beim Mapping-Ansatz werden sowohl getrennt voneinander agierende Quellenrekonstrukturen als auch gemeinsam operierende Decoder untersucht. Bei beiden Ansätzen lässt sich die Encoderstruktur – Hauptursache für die niedrige Kompressionsgeschwindigkeit – parallelisieren. Für eine reine Datenkompression ist dagegen eine kooperierende Decoderstruktur der getrennten Decodierung oder die Verwendung nichtbinärer Kanalcodes vorzuziehen.

Zum Abschluss der Arbeit wird das Datenkompressionsverfahren um ein Quellenmodell ergänzt. Ein Ansatz – die Vorverarbeitung der zu komprimierenden Daten mittels der Burrows-Wheeler-Transformation – dekorreliert die statistisch abhängigen Quellsymbole, so dass anschließend die entwickelte Kompressionsmethode für nicht-binäre i.i.d. Symbole verwendet werden kann. Ein alternativer Ansatz ist die Verwendung eines Quellencoders, der iterativ mit dem Kanaldecoder operiert. Die zur Wiederherstellung der Originalsequenz benötigte Quelleninformation wird dabei mittels eines modifizierten Baum-Welch-Algorithmus abgeschätzt. Quelleninformationsschätzung und Decodierung erfolgen in diesem Fall gemeinsam.

Die Dissertation erschien im Juli 2008 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“.

System and Cross-Layer Design for Mobile Video Transmission

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

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Eckehard Steinbach

Tag der mündlichen Prüfung: 13.11.2008

This work investigates system designs and optimizations for the application of video services in mobile communication systems. Special focus is put on the cooperation and optimization of functions in different layers of a transmission system taking into account the service requirements of different video applications. Based on channel models that are derived from state-of-the-art and emerging mobile communication systems, we introduce suitable transmission and video coding methods.

In particular, the by Dr. Stockhammer co-developed H.264/AVC video coding standard as well as a proprietary scalable extension are intensively analyzed for their applicability in mobile and Internet communication environments. Innovative error protection tools are designed which enable adaptation to the varying reception conditions in mobile communication environments and enable the cross-layer optimization with the proposed video coding tools. Among others, this work introduces a new paradigm for the protection of progressively coded sources, namely that the first error in a transmission block occurs as far out as possible – the Far End Error Decoding (FEED). The selection of video coding and error protection options as well as their cooperation is supported by the development of quality-optimizing selection and rate allocation schemes. The findings in this work are verified by information-theoretic justifications, practically relevant system designs as well as extensive simulation results. The benefits of the proposed methods with respect to existing systems are shown and the realizable gains are quantified.

This thesis will be published in 2009 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Diese Arbeit untersucht Systementwurfs- und -optimierungsverfahren für Anwendungen von Videoapplikationen im Mobilfunk. Besonderer Wert wird dabei auf das Zusammenspiel sowie auf die Optimierung von Funktionen auf den verschiedenen Schichten des Übertragungsmodells gelegt. Insbesondere werden bidirektionale Videokommunikations- und Streaming-Applikationen untersucht.

Basierend auf unterschiedlichen Übertragungsmodellen, die an aktuelle und zukünftige Mobilfunksysteme angelehnt sind, werden adäquate Übertragungs- und Videocodierverfahren vorgestellt. Speziell wird der von Dr. Stockhammer am LNT mitentwickelte Videocodierstandard H.264/AVC sowie eine proprietär entwickelte, skalierbare Erweiterung auf die Verwendbarkeit im Mobilfunk und bei Internetübertragung hin untersucht. Hierzu werden neuartige Fehlerschutzverfahren entwickelt, die sich speziell auf die im Mobilfunk zu erwartenden zeit- und ortsvariablen Empfangsbedingungen anpassen können und ein Zusammenspiel mit den vorgeschlagenen Videocodierverfahren erlauben.

In der Dissertation wird unter anderem das sog. FEED- Konzept (Far End Error Decoding) entwickelt und umgesetzt. In Gegensatz zu den herkömmlichen Verfahren, die auf die Minimierung von Bitfehlerraten abzielen, wird bei FEED ein Decodierverfahren eingesetzt, bei dem der erste Fehler in einem Übertragungsrahmen so spät wie möglich auftritt. Somit wird garantiert, dass wichtigere Daten immer fehlerfrei vorhanden

sind, solange die Anordnung im Rahmen nach Wichtigkeit erfolgt. Dieses Konzept kann sowohl durch einen ungleichmäßigen Vorwärtsfehlerschutz, ein Rückübertragungsverfahren sowie Kombinationen aus beiden Verfahren erreicht werden.

Die Auswahl von Optionen der Videocodier- und Fehlerschutzverfahren sowie deren Zusammenspiel wird durch qualitätsoptimierende Auswahlverfahren unterstützt. Dabei werden sowohl die statistischen Eigenschaften von Übertragungskanal und Videosignal berücksichtigt als auch die Applikationsbedingungen hinsichtlich Verzögerung und Qualität in die Optimierung miteinbezogen. Verschiedene Systemansätze werden vorgestellt und miteinander verglichen.

Die Arbeit wird durchgehend von informationstheoretischen Betrachtungen, praktisch relevanten Systementwürfen sowie ausführlichen Simulationsergebnissen begleitet, die die Vorzüge der vorgeschlagenen Methoden im Vergleich zu existierenden Systemen belegen und quantifizieren. Die Ergebnisse der Dissertation zeigen, dass die neu entwickelten Systementwürfe signifikante Verbesserungen in Bezug auf Qualität und Effizienz mit sich bringen. Durch den Einsatz dieser Konzepte können im Vergleich zu herkömmlichen Systemen die erforderlichen Ressourcen typischerweise um den Faktor zwei reduziert werden. Diese Verbesserungen ergeben sich in erster Linie aufgrund des Einsatzes optimierter Komponenten und dem Austausch von Informationen zwischen Komponenten auf verschiedenen Übertragungsschichten.

Die Arbeit erscheint Anfang 2009 im Dr.-Hut-Verlag, München, in der Reihe „Informationstechnik“.

Joint Network-Channel Coding for Wireless Relay Networks

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Utschick

1. Bericht: Prof. Dr. Ralf Kötter

2. Bericht: Prof. Dr. Sergio Benedetto (Politecnico di Torino)

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2008



This thesis investigates the design of channel codes for error correction in wireless relay networks with broadcast transmissions and time-division multiple-access. In particular, the relay channel, the multiple-access relay channel (MARC) and the two-way relay channel (TWRC) are considered as networks. The coding schemes for the MARC and the TWRC include network coding at the relay while the coding scheme for the relay channel includes routing.

Network coding and channel coding is jointly designed with the aim to exploit redundancy in the network code for a better error correction. The proposed coding schemes are based on turbo codes. Possible applications are cellular mobile systems.

Beside the design of new channel codes, it is considered how to allocate the transmission time to the source(s) and the relay. Moreover, a scheme with hierarchical modulation is proposed to lower the computational complexity of relaying systems. It is also proposed to extend current H-ARQ schemes for point-to-point communication systems with cross-packet channel coding.

This thesis will be published in spring 2009 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Ein derzeitiges Forschungsthema ist der Einsatz von Relais im zellularen Mobilfunk. Die Aufgabe eines Relais ist es, die Kommunikation zwischen Mobilstation und Basisstation zu unterstützen. Relais sollen einfacher, kleiner und billiger als Basisstationen sein und haben im Gegensatz zu einer Basisstation keine leitungsgebundene Verbindung zum Netz des Anbieters, sondern können nur per Funk kommunizieren.

Stationäre Relais können zum Beispiel auf Hausdächern oder Ampeln installiert werden, mobile Relais in Zügen oder Taxis. Unter Umständen können sogar andere Teilnehmer als Relais fungieren. Der Einsatz von Relais verspricht unter Anderem die folgenden Vorteile:

- (1) Wenn das Relais günstig positioniert ist, werden die Verbindungen von Mobil- und Basisstation zum Relais von besserer Qualität sein als der direkte Link zwischen Mobil- und Basisstation. Dadurch kann die Datenrate erhöht und die Zellabdeckung vergrößert werden.
- (2) Da das Signal über zwei Wege (direkt und/oder über das Relais) von der Senke empfangen werden kann, ermöglicht ein solches Relais einen Diversitätsgewinn. Das System wird dadurch robuster gegenüber Einbrüchen der Empfangsleistung durch Mehrwegeausbreitung und Abschattung.
- (3) Benutzt man ein stationäres Relais, so besteht mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein direkter Sichtkontakt zur Basisstation. Dadurch können Frequenzbereiche benutzt werden, die bisher ungeeignet für den Mobilfunk waren.

Diese Arbeit behandelt den Entwurf von Kanalcodes für den Fehlerschutz in drahtlosen Relaisnetzen mit Rundsendungen und Zeitmultiplex. Die Beschränkung auf Zeitmultiplex ist suboptimal. Es wird jedoch so eine praktische Realisierung erleichtert, da das Relais in diesem Fall nur im Halbduplexbetrieb arbeiten muss und die Signale der verschiedenen Stationen nicht auf Symbol- und Trägerphasenebene synchronisiert werden müssen.

Als Netze werden der Relaiskanal, der Mehrfachzugriffsrelaiskanal

und der bidirektionale Relaiskanal betrachtet. Der Mehrfachzugriffsrelaiskanal kann im zellularen Mobilfunk für den gemeinsamen Uplink mehrerer Mobilstationen mit Hilfe eines Relais benutzt werden. Dagegen lässt sich der bidirektionale Relaiskanal für den gemeinsamen Uplink und Downlink einer Mobilstation nutzen. Die Codes für beide Kanäle beinhalten Netzcodierung am Relais. Die Netz- und Kanalcodierung wird gemeinsam entworfen, um die Redundanz im Netzcode für einen verbesserten Fehlerschutz nutzen zu können.

Die vorgeschlagenen Codeentwürfe basieren auf Turbo-Codes. Die Codes für den Mehrfachzugriffsrelaiskanal und den bidirektionalen Relaiskanal erlauben es, Diversität mit höherer Rate als mit einem Code für den konventionellen Relaiskanal zu erreichen. Der Code für den bidirektionalen Relaiskanal kann zusätzlich die Rate erhöhen.

Neben dem Code-Entwurf wird die Zuteilung der Sendezeit auf die Quellen und das Relais untersucht. Dabei wurden explizite Lösungen gefunden, wie die Sendezeit für den Relaiskanal, den Mehrfachzugriffsrelaiskanal und den symmetrischen bidirektionalen Relaiskanal gewählt werden sollte, um die Datenrate zu maximieren.

Des Weiteren wird in der Dissertation ein Relaisystem mit hierarchischer Modulation vorgeschlagen, das eine Komplexitätsreduktion erlaubt. Zusätzlich wird eine Methode vorgestellt, wie derzeitige Punkt-zu-Punkt-Kommunikationssysteme mit paketübergreifender Kanalcodierung verbessert werden können.

Die Arbeit wird 2009 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erscheinen.

Frame Synchronization Processes in Gene Expression

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Wolf

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Joachim Hagenauer

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Klaus Diepold

Tag der mündlichen Prüfung: 09.12.2008

This thesis deals with the modeling of gene expression (protein synthesis) using frame synchronization, a method applied in digital data transmission. There, the receiver detects the beginning of a message based on short signaling sequences, so-called synchronization words. Analogously, nature makes use of fixed sequence motifs to mark the beginning of fundamental DNA regions, e.g. the genes, which are transcribed into mRNA during gene expression. Like the receiver in communication systems, proteins read out the stored information and detect the synchronization word. These analogies allow to adapt techniques from frame synchronization and to apply these to available genomes using simulations.

The two main steps of gene expression, transcription and translation, are modeled as a frame synchronization process. First, the sync words of bacterial transcription and translation are investigated in detail with respect to their synchronization properties. This includes three aspects: The probability for shifted synchronizations, missed synchronizations and false synchronizations on random data.

Thereafter, the DNA sequences around biological synchronization words in bacteria as well as in higher organisms are further analyzed using classical information theoretic measures like mutual information and Kullback-Leibler divergence. The results of this thesis indicate that the synchronization words of gene expression and their wider surrounding have been chosen nearly optimally in the communications engineering sense to ensure their detection during gene expression.

This thesis will be published in spring 2009 by the Verlag Dr.-Hut in the series „Informationstechnik“.

Diese Arbeit behandelt die Modellierung der Genexpression (Proteinsynthese) durch Rahmensynchronisation, einem gängigen Verfahren der digitalen Datenübertragung. Hierbei detektiert der Empfänger den Beginn einer Nachricht in einem kontinuierlichen Datenstrom anhand kurzer Signalisierungssequenzen, der sog. Synchronisationswörter. Analog dazu verwendet die Natur feste Sequenzmotive, um den Beginn von fundamentalen DNA-Regionen der Genexpression zu markieren. So befindet sich ein sogenannter Promotor kurz vor den Genen, dem Teil der DNA, der während des Transkriptionsprozesses in mRNA (messenger RNA) umgewandelt wird. Ein weiteres biologisches Synchronisationswort markiert anschließend den Abschnitt der mRNA, der während der Translation in ein Protein umgeschrieben wird. Analog zu einem Empfänger in Kommunikationssystemen lesen während der Genexpression Proteine die in der DNA oder mRNA gespeicherte Information aus. Diese Analogien erlauben es, Methoden der Rahmensynchronisation anzupassen und mittels Simulationen auf verfügbare Genome anzuwenden.

In der Dissertation wird zunächst das Synchronisationswort der bakteriellen Transkription (der Promotor) untersucht. Hierzu werden Maße der Kommunikationstheorie auf das vierwertige Alphabet der DNA und die zugrunde liegende Protein-DNA-Interaktion angepasst. Die Ergebnisse belegen, dass die Natur den Promotor als nahezu optimales Synchronisationswort gewählt hat. Dieses minimiert sowohl die Wahrscheinlichkeit einer Fehlsynchronisation als auch einer verschobenen Synchronisation (einige Positi-

onen zu früh oder zu spät). Anschließend wird der Prozess der Promotorerkennung durch ein DNA-bindendes Protein als Rahmensynchronisationsvorgang modelliert, was neue Einblicke in die Dynamik von biologischen Interaktionen erlaubt. Die Ergebnisse belegen, dass sich nicht nur die Synchronisationswörter selber, sondern auch ihre Umgebung evolutionär so entwickelt haben, dass die Detektion des Transkriptionsstartpunkts in allen Fällen gewährleistet ist.

Zur weiterführenden Untersuchung der DNA-Sequenzen von Bakterien und höheren Organismen werden in dieser Dissertation klassische informationstheoretische Maße wie Transinformation und die Kullback-Leibler-Divergenz verwendet. Diese werden auf große Datensätze ähnlicher Sequenzen angewendet, um deren gemeinsame Funktionalität zu untersuchen. Auch die erzielten Ergebnisse für höhere Organismen deuten auf evolutionäre Prozesse hin, die der zuverlässigen Detektion der biologischen Synchronisationswörter dienen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, dass die Synchronisationswörter der Genexpression und ihre Umgebung im nachrichtentechnischen Sinne nahezu optimal gewählt wurden. Des Weiteren erlauben die Ergebnisse ein detaillierteres Verständnis der Protein-DNA-Interaktionen während der Genexpression und können hierdurch als wichtiger Beitrag zur Prädiktion und Ergänzung teurer und zeitintensiver biologischer Laborexperimente betrachtet werden.

Die Arbeit wird im Frühjahr 2009 im Verlag Dr.-Hut, München, in der Reihe „Informationstechnik“ erscheinen.

Weitere Promotionsverfahren mit Beteiligung von LNT-Professoren



04.10.2006 **Luis Barbero Linan**, Ph.D.

Rapid Prototyping of a Fixed-Complexity Sphere Decoder and its Application to Iterative Decoding of Turbo-Mimo-Systems

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Görtz, University of Edinburgh, Scotland

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

16.10.2006 Dr.-Ing. Dr. med. **Axel Wismüller**

Explorative Morphogenesis (XOM) – A Novel Computational Framework for Self-Organization

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll, TU München

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Gert Hauske* (u. A.)

13.12.2006 Dr.-Ing. **Dirk Daecke**

Symbol-Rate Timing Synchronization for DSL Transceivers

1. Bericht: Prof. (em.) Dr.-Ing. Ingolf Ruge, TU München

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik* (u. A.)

19.01.2007 Dr.-Ing. **Jochen Leibrich**

Modeling and Simulation of Limiting Impairments on Next Generation's Transparent Optical WDM Transmission Systems with Advanced Modulation Formats

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Rosenkranz, Christian-Albrechts-Universität Kiel

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik* (u. A.)

22.02.2007 Dr.-Ing. **Sascha Vorbeck**

Systementwurf von optischen Übertragungsstrecken mit 160 Gbit/s Kanaldatenrate

1. Bericht: Prof. (em.) Dr.-Ing. Edgar Voges, TU Dortmund

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

15.05.2007 Dr.-Ing. **Yan Geng**, Ph.D.

Detection and Processing of Phase Modulated Optical Signals at 40 Gbit/s and Beyond

1. Bericht: Prof. Dr. Lars Grüner-Nielsen, University of Denmark (TUD), Copenhagen

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik* (u. A.)

06.08.2007 **Cen Jung Tjhai**, Ph.D.

A Study of Linear Error Correcting Codes

1. Bericht: Prof. Martin *Tomlinson*, University Plymouth, UK

2. Bericht: Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. *Joachim Hagenauer* (u. A.)

09.10.2007 Dr.-Ing. **Tobias Oechtering**

Spectrally Efficient Bidirectional Decode-and-Forward Relaying for Wireless Networks

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. *Holger Boche*, TU Berlin

2. Bericht: Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. *Joachim Hagenauer* (u. A.)

30.10.2007 Dr.-Ing. **Thomas Fischer**

Online-Routing in selektiv regenerierenden DWDM-Kernnetzen unter Berücksichtigung der Übertragungsgüte

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Jörg Eberspächer, TU München

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik* (u. A.)

Der nebenstehenden Liste ist zu entnehmen, dass Prof. Hanik und Prof. Hauske im Zeitraum vom 01.10.2006 bis 06.10.2008 bei drei weiteren Promotionsverfahren unserer Universität mitgewirkt haben. Daneben waren Prof. Hagenauer und Prof. Hanik Koreferenten bei elf Promotionen anderer Hochschulen.

22.11.2007 Dr.-Ing. **Matthias Narroschke**

Adaptive Prädiktionsfehlercodierung für die Hybridcodierung von Videosignalen

1. Bericht: Prof. (em.) Dr.-Ing. Hans Georg *Musmann*, Leibniz Universität Hannover

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

15.02.2008 Dr. M.S. **Chunmin Xia**

Advanced Electronic Distortion Equalization for High Speed Optical SMF and MMF Communications

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Rosenkranz, Christian-Albrechts-Universität Kiel

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

12.05.2008 **Aruna Tripathy**, Ph.D.

Error Performance and Complexity Analysis of Low Complexity Turbo Equalization

1. Bericht: Prof. Mohapatra, Indian Institute of Technology, Kharagpur

2. Bericht: Prof. (i.R.) Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. *Joachim Hagenauer* (u. A.)

02.06.2008 Dr.-Ing. **Matthias Seimetz**

Advanced Optical Fiber Transmission Systems with High-Order Phase and Quadrature Amplitude Modulation

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Klaus Petermann, TU Berlin

2. Bericht: Prof. Dr.-Ing. *Norbert Hanik*

06.10.2008 Dr.-Ing. **Patrick-Felix Nickel**

Interference Cancellation for Single Carrier Transmission Systems

1. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Koch, FAU Erlangen-Nürnberg

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

Overview of the Topics of our Institute: From Point-to-Point to Distributed Large Systems

Ralf Kötter

6

Arbeitsgebiete

The classical challenge of much of communications and coding theory has been to achieve Shannon's capacity promise on the most common channels. Today, this challenge is essentially met and it is fair to say that the problem of point-to-point connections is practically solved. The challenges of today and tomorrow are focused on communication situations that involve many users, interfering and competing for resources. At the same time collaborative strategies between many users open enormous potential benefits. Applications are the driving force here, involving, for example, ad-hoc networks in various contexts, sensor nets, large distributed systems, local access networks, but also traditional ubiquitous networks like the Internet and the cellular nets.

It is natural that the Institute for Communications Engineering (LNT) is also addressing challenges in this broad area, both on the information theoretic front as well as concerning the practical realization of such large systems. The ITMANET (Information Theory for Mobile Ad-Hoc Networks) project is an example for research on the theoretical underpinnings of networks. This project, sponsored by a research award from Stanford University, is part of a collaborative effort between Stanford University, the Massachusetts Institute of Technology (MIT), the University of Illinois, the California In-

stitute of Technology (Caltech) and TUM. Being a member of this program makes the LNT part of an internationally outstanding theoretical effort. Other projects with U.S. partners address the concrete development of novel architectures of wireless ad-hoc networks (CBMANET) as well as an MIT-sponsored research project that investigates how the ideas of network coding affect security aspects in networks. These projects may illustrate the international connections of the LNT which are crucial to a successful research program.

A prominent role in our research is being played by the coding theoretic and system aspects that network coding offers. Coding theoretic questions for dynamic packet erasure networks are being considered by *Tobias Lutz*. Other research topics involve the interplay of network coding with error correction coding in wireless networks. *Christoph Hausl*'s work on combining turbo coding techniques with relaying in small networks was acknowledged with the Best Paper Award at the ICC Communications Theory Symposium in 2006. A related project by *Georg Zeitler* makes the connection between network coding and channel coding transparent, even in situations that do not allow decoding at the intermediate nodes in a network. Optimizing networks themselves, i.e. optimizing their topology and

connectivity, is the research topic of *Mohit Thakur*, who investigates the possible gains of network coding aware planning of networks. *Danail Traskov* is investigating the effect of access techniques in wireless networks, a research topic that evolved out of the CBMANET project.

While coding for networks plays a prominent role in the research at LNT, hard coding theoretic questions remain a core area of interest. Novel algorithms for coding, decoding, equalization and joint source channel questions continue to be of central importance. The amazing advances that algebraic decoding has made in the last decade are being investigated in a communications context by *Joschi Brauchle*.

Finally, I would like to refer to reports outside Network Coding. *Klaus Eichin* and *Günter Söder* present their achievements in the field of the eLearning Tutorial *LNTwww* in which they have been engaged for more than seven years. It follows three reports of the ComInGen (Communications and Information Theory in Genetics) Group which is also engaged in biological issues and which is headed by my predecessor, Professor *Joachim Hagenauer*.

At the end of this Chapter you will find six reports concerning the field of Line Transmission Technology. On page 53 my colleague, Professor *Norbert Hanik*, gives an overview on his topics.

Algebraische Soft-Decodierung von Reed-Solomon-Codes

Joschi Brauchle

Since their invention over 40 years ago, Reed-Solomon codes became one of the most widely used class of forward error correction codes. One important reason for their success is the availability of very efficient bounded minimum distance decoding algorithms, e.g. the Berlekamp-Massey algorithm, which uniquely decode a fraction of errors up to half the minimum distance. In his breakthrough paper [1] in 1997, Sudan presented a list-decoding algorithm, that decodes Reed-Solomon codes beyond half the minimum distance in polynomial time. Recent improvements even achieve list-decoding capacity [2]. The goal of our research is to extend these ideas to make efficient use of the available soft-information as well as to reduce their computational complexity.

Seit ihrer Entdeckung vor über 40 Jahren haben sich Reed-Solomon-Codes zu dem am häufigsten verwendeten Fehlerkorrekturverfahren entwickelt. Zu ihrem breiten Anwendungsgebiet zählen digitale Übertragungssysteme wie z. B. die optische Datenübertragung, Weltraumkommunikation, digitale Videoübertragung (DVB) und DSL-Modems als auch die meisten Speichermedien wie Festplatten, CDs und DVDs. Reed-Solomon-Codes werden überall dort eingesetzt, wo ein hohes Maß an Zuverlässigkeit bei der Übertragung und Speicherung von Daten benötigt wird.

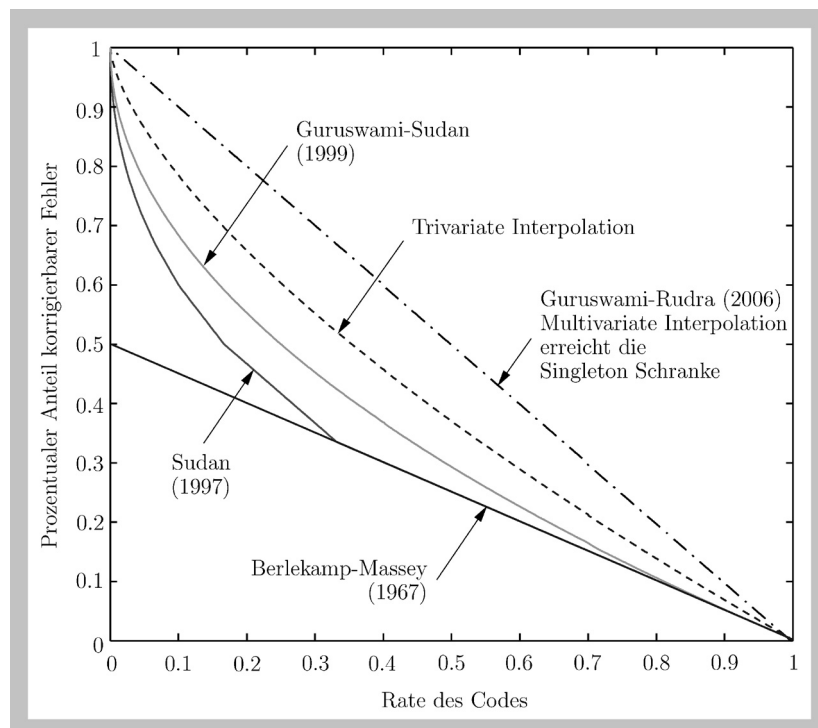
Ihre Popularität verdanken diese Codes ihrer einfachen und eleganten algebraischen Struktur, besonders jedoch den schon früh verfügbaren und sehr effizienten „Bounded Minimum Distance“ (BMD) Decodierverfahren, wie beispielsweise dem Algorithmus von Berlekamp und Massey sowie dessen Varianten, welche eine eindeutige Decodierung bis zur halben Mindestdistanz des verwendeten Codes ermöglichen.

In der bahnbrechenden Arbeit [1] von Sudan aus dem Jahr 1997 gelang es erstmals, Reed-Solomon-Codes mittels Listendecodierung über die halbe Mindestdistanz hinaus mit nicht-exponentieller Komplexität zu decodieren. Durch eine Vielzahl von Erweiterungen der zugrundeliegenden Idee der multivariaten Interpolation wurde der Abstand zum theoretisch möglichen Maximum an korrigierbaren Fehlern (Singleton Schranke) in den letzten Jahren schrittweise weiter verringert. 2006 wurde schließlich diese Schranke – und damit die Kapazität der Listendecodierung – durch Guruswami-Rudra [2] für alle Raten erreicht (siehe Abbildung). Nachteile dieser neuen Algorithmen sind allerdings die wachsende Komplexität durch steigende Alphabetgrößen sowie die Vernachlässigung von verfügbarer Soft-Information.

Ziel unserer Forschung ist es, die vom Übertragungskanal zur Verfügung gestellte Soft-Information, ähnlich dem Ansatz von Kötter und Vardy [3], durch Gewichtung der Interpolationspunkte in Form von Multiplizitäten für diese Verfahren verwertbar zu machen. Wie diese Multiplizitäten effizient – etwa mit Hilfe von verketteten Faltungscodes – bestimmt werden können, ist dabei eine der zu beantwortenden Fragen. Weiteres Augenmerk liegt auf der Reduzierung der benötigten Alphabetgrößen sowie der Komplexität des Interpolationsprozesses insgesamt.

Literatur:

- [1] Sudan, M.: Decoding of Reed-Solomon Codes beyond the Error Correction Bound. In: *J. Complexity*, März 1997.
- [2] Guruswami, V., Rudra, A.: Explicit Capacity-Achieving List-Decodable Codes. In: *Proc. ACM Symposium on Theory of Computing*, Mai 2006.
- [3] Kötter, R., Vardy, A.: Algebraic Soft-decision Decoding of Reed-Solomon Codes. In: *IEEE Trans. on Inform. Theory*, November 2003.



Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Decodierverfahren für Reed-Solomon-Codes in Abhängigkeit der Coderate sowie deren zeitliche Entwicklung

Network coding, i.e. encoding at the interior nodes of the network, has the potential to achieve higher communication rates as compared to routing or copying messages at the interior nodes. However, it is highly susceptible to errors. In [1], a coding theoretic approach for network error correction was introduced which requires no knowledge about the network topology and the linear network code. The main idea is to relate source messages to vector spaces. Since vector spaces are closed under linear operations, linear network coding will preserve the sent spaces assumed that the minimum network cut is large enough and the network does not introduce (new) error dimensions. If the last two conditions are not met, correct decoding is still possible if the received space coincides with the sent space in a sufficiently large number of dimensions as was shown in [1]. The aim of my work will be to develop efficient codes based on this idea.

Das Konzept der linearen Netzcodierung – die englische Bezeichnung ist Linear Network Coding – besteht darin, dass Netzknoten ankommende Pakete nicht direkt weiterleiten, sondern vielmehr Linearkombinationen von diesen, was im Allgemeinen zu höheren Datenraten führt. In diesem Zusammenhang wurde in [2] folgende Vorgehensweise vorgeschlagen: Der Sender erweitert jedes Datenpaket mit einem Header, wobei der Header des i -ten Datenpakets der i -te Einheitsvektor ist. Somit liegt die Matrix, deren Zeilen die erweiterten Datenpakete beschreiben, in Treppennormalform vor.

Falls die Anzahl der Datenpakete nicht die minimale Trennkapazität des Netzes überschreitet, kann der Empfänger erfolgreich decodieren, indem er die aus den empfangenen Paketen gebildete Matrix auf Treppennormalform bringt. Bereits das Auftreten eines einzigen Übertragungsfehlers birgt jedoch die Gefahr

in sich, dass alle empfangenen Datenpakete fehlerhaft sind.

Vor kurzem wurde von Kötter und Kschischang [1] ein codierungstheoretischer Ansatz entwickelt, welcher genau dieser Problematik entgegenwirkt. Deren Schlüsselbeobachtung ist, dass ein Kommunikationsnetz als nicht kohärentes MIMO-System über einem endlichen Zahlenkörper aufgefasst werden kann. In diesem Zusammenhang werden die in das Netz injizierten Pakete als Erzeugendensystem (bzw. Basis) eines Unterraums interpretiert. Information wird somit bei diesem neuen Ansatz nicht in Form von Vektoren, wie in der klassischen Codierungstheorie üblich, sondern in Form von Vektorräumen repräsentiert.

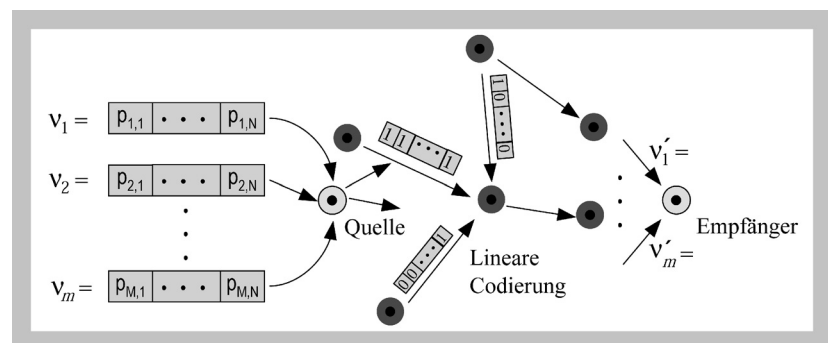
Aufgrund der Abgeschlossenheit von Vektorräumen bezüglich linearen Operationen verhält sich ein linear codiertes Netzwerk invariant gegenüber einem gesendeten Vektorraum, vorausgesetzt, dass die minimale Trennkapazität des Netzes die Dimensionalität des injizierten Unterraums nicht unterschreitet und dass keine zusätzlichen Dimensionen durch Fehlerpakete entstehen. Durch das Sammeln von Paketen enthält der Empfänger somit ein Erzeugendensystem (bzw. Basis) des gesendeten Unterraums. Falls alle im Codebuch enthaltenen Unterräume dieselbe Dimension besitzen, kann der Empfänger problemlos entscheiden, wann das Decodieren einer Generation beendet ist.

In drahtlosen Netzen darf allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass die Übertragung zwischen Netzknoten fehlerfrei abläuft. Zusätzlich besteht die Gefahr einer absichtlichen Störung durch die Injektion von Fehlerpaketen. In [1] wurde gezeigt, dass man dennoch Codes konstruieren kann, so dass erfolgreiches Decodieren möglich ist, sofern der gesendete und der empfangene Unterraum einen Schnittraum genügend großer Dimension besitzen. Die Distanzeigenschaften dieser Codes können anhand so genannter Graßmann-Graphen visualisiert werden (siehe Cover).

Ziel meiner Arbeit in den nächsten Jahren wird sein, effektive Codes für drahtlose Netze zu entwickeln, welche auf dem oben beschriebenen Ansatz beruhen.

Literatur:

- [1] Kötter, R.; Kschischang F.R.: Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding“. In: *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 54, pp. 3579-3591, Aug. 2008.
- [2] Chou, P.A.; Wu, Y.; Jain, K.: Practical Network Coding. In: *Proc. 2003 Allerton Conf. Communications, Control and Computing*, Monticello, IL, USA, Oct. 2003.



Die Quelle injiziert Basisvektoren in das Netzwerk und der Empfänger versucht, anhand empfangener Pakete auf die gesendete Basis zu schließen

Reliability and Network Optimization using Network Coding

Mohit Thakur

Mit Hilfe der Netzcodierung kann für viele bisher ungelöste Probleme ein Lösungsansatz gefunden werden. Ein wichtiges Gebiet der Netzcodierung ist unter Anderem das Auffinden des kostengünstigsten Subgraphen für Multicastverbindungen. Unser Lösungsweg für dieses Optimierungsproblem vermeidet zum einen das Verdichten des sog. Steiner-Baums, zum andern führt die Anwendung der Netzcodierung mit intelligenten Algorithmen zu äußerst günstigen Subgraphen mit praktischer Relevanz. Bei den Untersuchungen wird ein auf JAVA basierender zeitdiskreter Simulator verwendet. Die Grafik zeigt ein Szenario, bei dem durch Hinzunahme des Knotens (E) die Netz-sicherheit erhöht wird.

Since the advent of network coding, there has been a new dimension added to the space of networking technologies. Network Coding attempts to answer many questions which have been open for many years and

also some questions which have already been answered with a new perspective which could further lay down foundations and help search answers for more relevant and complicated questions.

We look at one of the important areas of the application of Network Coding which involves taking a new approach of looking at the shortest path (minimum cost) problem for a single multicast as subgraph selection problem (using network coding) and evading the standard multiple packing of Steiner trees. Solving this as an optimization problem has some important advantages:

- Firstly, our optimization method evades the Steiner tree packing problem which is a hard combinatorial problem.
- Secondly, using the idea of network coding with intelligent algorithms could result in a highly optimal subgraph for the minimum cost flow problem.

In corroboration to previously mentioned work we also look at the problem of providing reliability in networks using network coding. This basically makes an attempt to look at the network reliability issues in a more structural fashion i.e. how

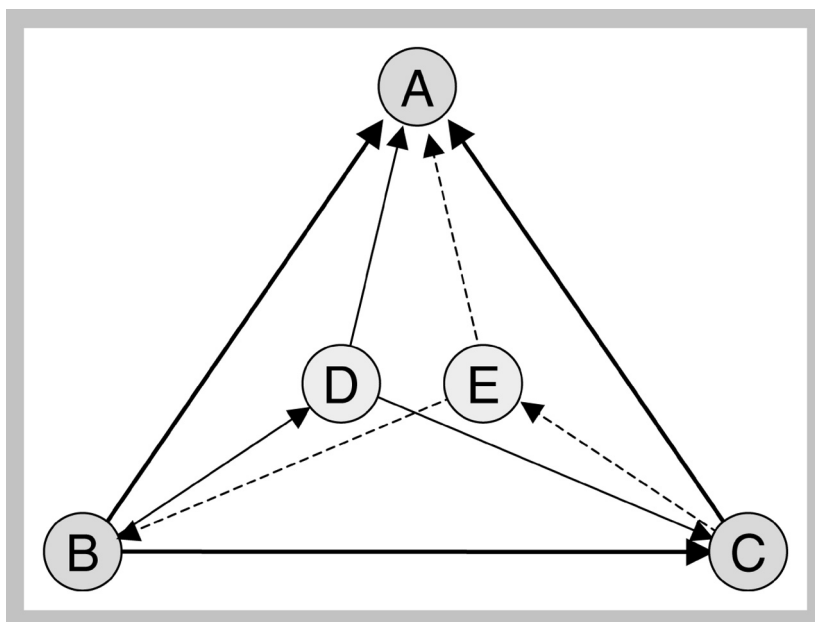
can the network support congestion points and blockades on its links.

Furthermore, we investigate where and how an extra node can be added or removed and accordingly new links associated with it that can support the traffic demands. The first step in attempting to formulate this problem is to adapt a model (for e.g. SINR model). This problem involves combinatorial optimization aspects simply because the placement of a new node or the deletion on an existing node is highly dependent of its new and existing location respectively. This combined with the adopted model should provide the basic formulation of this research problem. We look at heuristics to solve this problem as it can be very complex.

Our aim is to simulate our research observations in a JAVA based discrete time event simulator named JiST (Java in Simulation Time). We aim to use the practical applicability of network coding and answer the relevant network optimization and planning questions.

The figure makes an attempt to concisely nail down the topics of research explained above. We have a network given with nodes A, B, C, and D and links between these nodes.

In order to provide reliability or enhance the network capacity (e.g. in terms of multicommodity flow capacity) there is an addition of a new node (node E) which establishes new links in the network. The new network needs to be optimized in terms of interference generated for other already existing nodes to the new links established which could reduce/enhance routing of flow. The dashed lines show the possibility of establishing new links.



Reliability in networks using Network Coding

Literature:

- [1] Lun, D.S.; Ratnakar, N.; Kötter, R.; Médard, M.; Ahmed, E.; Lee, H.: Achieving Minimum-Cost Multicast: A Decentralized Approach based on Network Coding. - In: *INFOCOM*, 2005

Scheduling for Network Coded Multicast: A Conflict Graph Formulation

Danail Traskov



Das hier behandelte Thema ist das Scheduling – das heißt die Ressourcenallokation – bei netzcodierter Multicastübertragung in drahtlosen Multi-Hop-Netzwerken. Die für diesen Fall spezifischen Interferenzbedingungen werden durch einen Konfliktgraphen mit besonderer Struktur modelliert, die Optimierung erfolgt über das Stabile-Mengen-Polytop eines sog. Konfliktgraphen. Die Grafik zeigt, dass sich damit eine Ratensteigerung von bis zu 90% ergibt.

In a multi-hop wireless network an optimal strategy to multicast to a group of receivers is to use random linear network coding over an optimized subgraph. Random linear codes are capacity achieving for a given subgraph and this subgraph can be computed by means of solving a linear or convex program.

The subgraph optimization is a fairly tractable problem and, furthermore, solvable in a distributed fashion making it relevant in practice. An essential assumption is that all nodes in the network transmit on orthogonal channels and thus conflicts due to interfering transmissions do not arise. This is a reasonable assumption in a power limited regime, where bandwidth is not scarce and one might simply avoid interference by orthogonalizing the entire network. However, in many if not most scenarios, wireless networks are interference limited. To that end a high frequency reuse within the network is necessary which has to be achieved by carefully scheduling simultaneous transmissions.

The prevalent approach to this problem is to construct an interference-free transmission schedule by means of some heuristic and then to compute an optimal subgraph over this, now essentially orthogonal, network. As an example, in NAMA (Node Activation Multiple Access) the authors propose a suboptimal collision-free strategy where two nodes

cannot transmit simultaneously if they are within two hops. While this is a practical solution, it is not clear how it affects the overall performance of the network. Furthermore, from a systems perspective it is unsatisfying to have one component (the network coding subgraph) carefully optimized, while the other essential part (the medium access) is done in a more or less ad-hoc fashion.

To that end, we suggest a framework, where subgraph optimization and channel access are treated jointly. We construct a hypergraph that takes into account possible transmissions to every subset of neighbors of a node. Each such subset is represented by a hyperarc. The essential novelty of our approach is that we consider subsets of hyperarcs that can be activated simultaneously without interfering. These scheduling constraints are transformed into a conflict graph representation, where the hyperarcs are represented by nodes and the activation constraints are given by edges: A set of hyperarcs can be activated simultaneously only if they are not connected by any edge in the conflict graph.

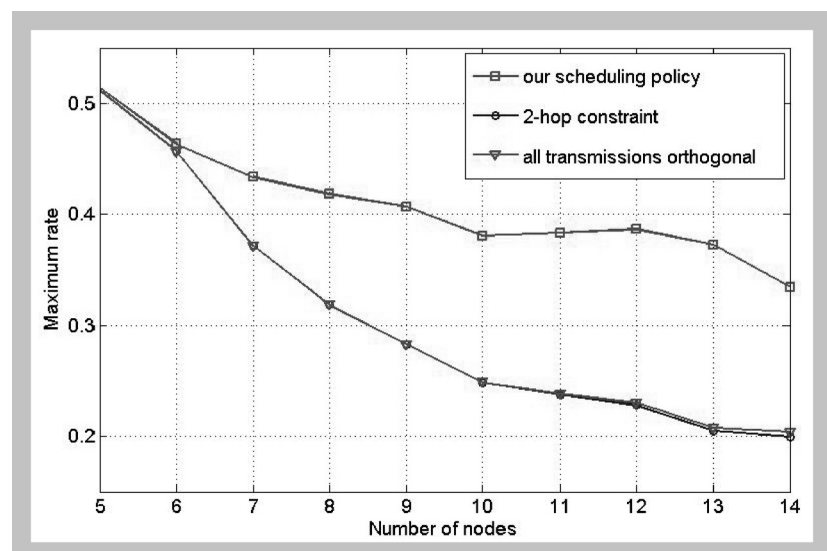
The problem formulation of scheduling as finding stable sets is

well known in other contexts. For network coded traffic, however, it gives rise to a number of novel and interesting observations. It takes into account that nodes broadcast coded packets to all neighbors (the wireless broadcast advantage) and also that transmissions are subject to interference.

By guaranteeing a node successful transmission to a subset of its neighbors and at the same time permitting conflicts on the remaining neighbors, we are not seeking to minimize the number of collisions per se. In fact, one can argue that we are scheduling conflicts for the nodes not contained in the activated hyperarc.

In summary, the novelty of our approach is that we

- formulate a precise scheduling model for network coded traffic,
- solve the joint multi-access and subgraph optimization problem,
- report gains of up to 90% compared to widely used scheduling techniques (see figure).



Maximum rate of a multicast connection with one sender and two receivers as a function of the number of network nodes

Kanal- und Netzcodierung sowie Quantisiererentwurf für drahtlose relaisbasierte Netzwerke

Georg Zeitler

Network coding generalizes routing in that it allows intermediate nodes in a network to not only forward packets but also to perform coding operations on its received packets. Although originally developed for wireline networks, the concept of network coding can also be applied to wireless networks. In our work we consider the multiple-access relay channel in which two mobile stations share one relay to communicate with the base station. Assuming that the relay cannot decode the source messages reliably, we apply ideas from network coding and quantizer design to the soft information obtained at the relay.

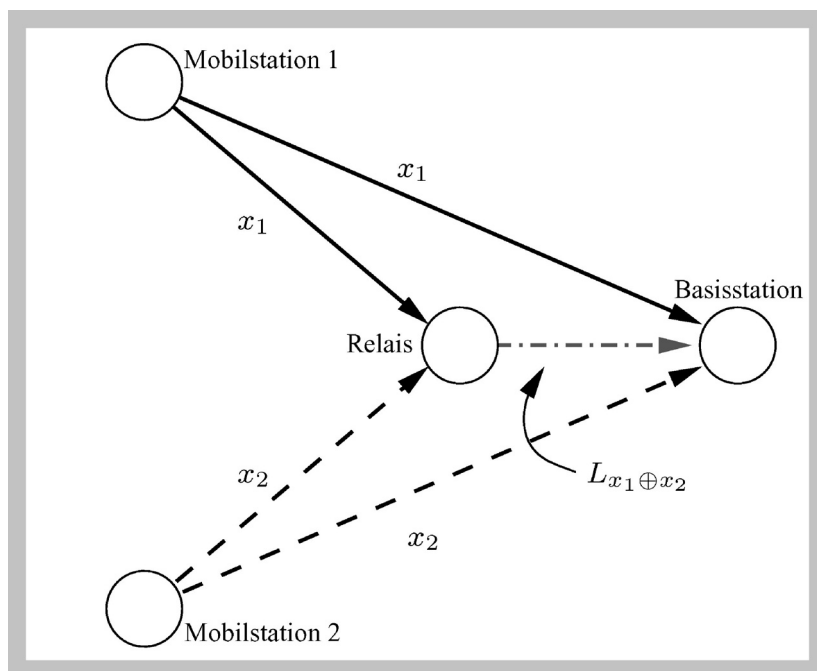
Der designierte Zweck von Relaisstationen in drahtlosen Netzwerken ist es, die Übertragung anderer Teilnehmer kooperativ zu unterstützen.

Dieser Ansatz der Kooperation in Netzen ist auch als *Cooperative Communications* bekannt [1]. Durch den Einsatz von Relaisstationen in Funknetzen kann neben einer erhöhten Datenrate und dem Gewinn an Diversität auch eine größere Gebietsabdeckung erreicht werden, wobei die Aufstellung von Relaisstationen für den Netzbetreiber finanziell erheblich günstiger ist als das Betreiben zahlreicher Basisstationen in großer Dichte.

Beispielsweise wird das in der Abbildung gezeigte Funknetz betrachtet, bestehend aus zwei Mobilstationen, einer Relais- sowie einer Basisstation. In einem ersten Zeitschlitz sendet Mobilstation 1 ihre Nachricht x_1 an die Relaisstation und die Basisstation, ebenso die Mobilstation 2 ihre Nachricht x_2 in einem zweiten Zeitschlitz. Durchgehend gelte die Annahme, dass die Relaisstation örtlich nahe an der Basisstation liegt, wodurch die Relaisstation die Nachrichten der beiden Mobilstationen nicht notwendigerweise fehlerfrei decodieren kann. Dagegen ist die Ver-

bindung vom Relais zur Basisstation von guter Qualität. Obwohl sie nicht fehlerfrei decodieren kann, ist die Relaisstation trotzdem in der Lage, sogenannte Soft-Information über die Nachrichten beider Quellen zu gewinnen, welche – entsprechende Übertragung an die Basisstation vorausgesetzt – dort zur Decodierung verwendet werden kann. Dieser Ansatz lässt sich mit Netzcodierung (*Network Coding*) verbinden, indem die Relaisstation die Information beider Teilnehmer verknüpft und die Soft-Information über $x_1 \oplus x_2$ an die Basisstation sendet, welche mittels eines iterativen Algorithmus unter Zuhilfenahme der beiden direkten Übertragungen von den Mobilstationen und der Übertragung vom Relais decodiert.

Um eine effiziente Übertragung vom Relais zu ermöglichen, wurde ein Quantisierer für die Softwerte an der Relaisstation entworfen [2]. Dabei wird der Quantisierer für einen gegebenen Kanalcode abhängig von der Kanalqualität zwischen Mobil- und Relaisstation so konzipiert, dass möglichst viel relevante Information, also Information über $x_1 \oplus x_2$ zur Basisstation übertragen werden kann. Diese quantisierte Art der Übertragung zur Basisstation ist vorteilhafter als eine analoge Übertragung der Softwerte, besonders, falls wie angenommen, der Kanal zur Basisstation von ausreichender Qualität ist. Weiteres Augenmerk liegt auf der Bestimmung der optimalen Sendezeitdauer der Mobilstationen und der Relaisstation.



Funknetz mit Relaisstation: die Relaisstation kann die Nachrichten von Mobilstation 1 und Mobilstation 2 nicht decodieren, sendet aber Soft-Information über die netzcodierte Nachricht an die Basisstation

Literatur:

- [1] Kramer, G.; Marić, I.; Yates, R.D.: Cooperative Communications. In: *Foundations and Trends in Networking*, 2006.
- [2] Zeitler, G.; Köttler, R.; Bauch, G.; Widmer, J.: Design of Network Coding Functions in Multihop Relay Networks. In: *Proc. 5th Int. Symp. Turbo Codes and Related Topics*, 2008.

Zwischenstand nach siebeneinhalb Jahren: LNTwww – ein webbasiertes Lerntutorial für die Nachrichtentechnik

Klaus Eichin und Günter Söder



We are giving an intermediate statement concerning the status of completion of our E-learning tutorial system *LNTwww*. Meanwhile being active on this project for nearly eight years we show how much of our electronic learning material is (nearly) finished and is now available in the Internet with URL <http://www.LNTwww.de>.

2001 begann Martin Winkler mit seiner Diplomarbeit am LNT und hat damit wichtige systemtechnische Grundlagen für das von uns geplante interaktive und webbasierte Lerntutorial *LNTwww* geschaffen. Im Endausbau sollte dieses neun abgeschlossene Lehrbücher der Informations- und Kommunikationstechnik, insbesondere der Nachrichtentechnik, in didaktisch und multimedial aufbereiteter Form umfassen.

Nach nunmehr 7 ½ Jahren intensiver Arbeit unsererseits und von 25 Diplomanden, Studienarbeitern und Werkstudenten ist es Zeit für einen Zwischenbericht: Die Eigenentwicklung des datenbankbasierten Autoren-systems *LNTwww* ist nach den letzten Anpassungen durch Y. Winter abgeschlossen. Es basiert auf Apache (Webserverkonzept), MySQL (Datenbanksystem) sowie Perl (Web-Programmiersprache) und erlaubt, alle Aspekte unseres bereits 2001 festgelegten Konzepts umzusetzen.

Wir haben in früheren Tätigkeitsberichten bereits die Zielsetzung und das didaktische Konzept (2003), das technische Konzept und einige Realisierungsaspekte (2005) sowie die Gestaltung von Lehrvideos und interaktiven Multimedia-Modulen unter FlashMX (2006) beschrieben. Dieser Beitrag widmet sich nun den inzwischen fertig gestellten Inhalten von *LNTwww* (siehe Tabelle).

Unser selbstgestecktes Ziel ist es, Offline-Vorlesungen im Umfang von 23 Semesterwochenstunden (SWS) und zusätzlich 13 SWS Übungen über das Internet bereit zu stellen. Derzeit haben wir diese Vorgabe erst zu knapp 60% erreicht (siehe letzte

Zeile in der Tabelle). Drei (2V+1Ü)-Bücher, nämlich

- Informationstheorie,
- Mobile Kommunikation,
- Kanalcodierung,

wurden noch gar nicht begonnen. Bezüglich der in der Tabelle zusammengestellten sechs Bücher erreichen wir einen mittleren Fertigstellungsgrad von über 75%.

Betrachten wir beispielsweise das quasi-fertige Buch *Signaldarstellung* genauer. Wir geben keinen höheren Fertigstellungsgrad als 98% an, da nach unserer Auffassung weder Lehrmaterial noch ein Softwareprodukt – um ein solches handelt es sich bei *LNTwww* nämlich auch – mit gutem Gewissen als „endgültig fertig“ bezeichnet werden kann.

Die Einträge der ersten Tabellenzeile zeigen, dass das Buch *Signaldarstellung* dem Nutzer 140 strukturierte und verlinkte Theorieseiten mit Texten, Herleitungen, Beispielen und 200 Grafiken bietet, dazu 60 Aufgaben mit im Mittel fünf Teilfragen

sowie ausführlichen Musterlösungen. Hinweise zu den elf Lehrvideos findet man in allen Büchern auf Seite 2 der Vorbemerkungen, während auf Seite 3 Links zu den interaktiven Multimedia-Anwendungen angegeben sind. Die Realisierung einer solchen Flash-Animation erfordert im Schnitt zwei Personenmonate.

Das Lerntutorial ist im Internet unter der Adresse www.LNTwww.de frei zugänglich; es wird jährlich von mehr als 4000 Nutzern besucht. Daneben werden einige der interaktiven multimedialen Module auch in verschiedenen Lehrveranstaltungen eingesetzt. Sie kommen damit direkt unseren TUM-Studenten zu Gute, mit deren Studienbeiträgen einige Arbeiten bezahlt wurden. Für diese Unterstützung bedanken wir uns.

	Grafiken						
	Theorieseiten		Interaktive Module		Lehrvideos		Aufgaben
Fertigstellungsgrad in %							
Umfang in SWS (V + Ü)							
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Signaldarstellung	3 + 2	98	140	200	8	11	60
Lineare zeit-invariante Systeme	2 + 1	50	45	80	7	1	30
Stochastische Signaltheorie	3 + 2	95	160	230	10	16	90
Modulationsverfahren	3 + 2	75	160	210	8	5	65
Digitalsignalübertragung	3 + 2	60	135	160	9	12	45
Beispiele von Nachrichtensystemen	3 + 1	65	145	150	3	0	20
Gesamtes bisheriges LNTwww	23+13	60	785	1030	28 ^(*)	35 ^(*)	310

Zwischenstand des Lerntutorials *LNTwww*. Hinweis: Die Angaben in der letzten Zeile sind nicht gleich der Summe der oberen Zeilen, da manche Multimedia-Module in mehreren Büchern verwendbar sind (*)

Analyse von Systemmodellen in der Genetik

Janis Dingel

DNA is the primary carrier of genetic information. From an information theoretic perspective, it is sufficiently represented as a symbolic sequence with elements from a quaternary alphabet. Using methods from information and coding theory, we analyze statistical system models that have been developed in Bioinformatics for DNA sequences (see Figure). We also investigate whether principles known from digital communication theory can help explaining phenomena observed in cellular information processing.

Die Information für den Aufbau eines jeden Organismus ist in seiner DNA gespeichert. Diese setzt sich aus einer langen Abfolge von vier verschiedenen Nukleotiden (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin) zusammen, die durch eine Zucker-Phosphatverbindung aneinander gereiht werden. Informationstheoretisch ist die DNA also durch die Abfolge vierwertiger Symbole (A, C, G, T) vollständig charakterisiert, wobei die Symbole für die Anfangsbuchstaben der Nukleotide stehen. Im Laufe der Evolution entstanden in der Zelle sehr effiziente Informationsverarbeitungsprozesse, die dafür sorgen, dass die Information schnell und fehlerfrei übertragen wird (z. B. bei der Zellteilung) und zudem entstandene Fehler (z. B. durch Mutationen) kor-

rigiert werden. Die Zelle ist dabei in der Lage, die Information sehr präzise zu verarbeiten. Dies führte einige Wissenschaftler zu der Vermutung, dass die DNA fehlerkorrigierende Codes verwenden könnte, ähnlich denen, die in der Kommunikationstechnik verwendet werden. Wir gehen dieser Hypothese nach, indem wir Methoden zur Entdeckung solcher Codes in Sequenzen entwickeln [1]. Bisherige Ergebnisse stützen obige Hypothesen jedoch noch nicht.

Obwohl bei der zellulären Informationsverarbeitung sehr geringe Fehlerraten erreicht werden (bei höheren Organismen ca. 10^{-9}), haben Mutationen dazu geführt, dass sich die genetische Information im Lauf der Evolution verändern und den herrschenden Umweltbedingungen anpassen konnte. Die DNA verschiedener Spezies unterscheiden sich daher voneinander, haben sich jedoch alle aus einer gemeinsamen, unbekannten Vorfahrensequenz entwickelt (siehe Grafik). Die evolutionäre Beziehung zwischen den Sequenzen lässt sich am besten mit Hilfe eines Baums beschreiben (siehe Grafik im Hanus-Beitrag). In der modernen Bioinformatik werden anhand dieser Sequenzen und mit Hilfe statistischer Evolutionsmodelle wichtige biologische Fragestellungen untersucht.

Das Ziel unserer Arbeiten ist eine informationstheoretische Betrachtungsweise und die Analyse der verwendeten Systemmodelle. In [2] haben wir eine neue Methode vorgestellt, um hoch konservierte Elemente in DNA-Sequenzen zu entdecken.

Solche Methoden sind notwendig, da erst in den letzten Jahren entdeckt wurde, dass weit mehr Bereiche in der DNA wichtige Informationen tragen müssen, als bisher angenommen wurde [2].

Auf einer höheren Ebene wird die genetische Information in Netzwerken verarbeitet. Die Knoten dieser Netzwerke sind dabei Gene, die mit anderen Genen „kommunizieren“ und dabei komplexe regulatorische Netzwerke ausbilden. Die Topologien und Funktionsweisen dieser Netzwerke sind zum Teil noch nicht verstanden. Ein wichtiges Ziel der sog. Systembiologie ist daher die Entwicklung von Algorithmen, die aus gemessenen Daten die Eigenschaften solcher Netzwerke bestimmen können. Wir entwickeln Algorithmen, die die Dynamik der Netzwerke voraussagen. Unsere Methoden basieren auf Algorithmen aus der Codierungstheorie [3], die in optimaler Weise berücksichtigen, dass Messdaten fehlen oder fehlerhaft sein können.

Literatur:

- [1] Dingel, J.; Hagenauer, J.: Estimation of the Parameters of a Convolutional Code from Noisy Observations. In: *Proc. Int. Symp. on Information Theory*, Nice, France, 2007
- [2] Dingel, J. et. al.: Local Conservation Scores without a priori Assumptions on Neutral Substitution Rates. In: *BMC Bioinformatics*, 2008
- [3] Dingel, J.; Milenkovic, O.: A List-Decoding Approach for Inferring the Dynamics of Gene Regulatory Networks. In: *Proc. Int. Symp. on Information Theory*, Toronto, 2008

human	C	A	G	A	C	A	A	C	A	A	C	G	C	G	G	A	T	C	A	C	C	A	A	A	C	A	C	A	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A					
chimp	C	A	G	A	C	A	A	C	A	A	C	G	C	T	G	A	T	C	A	C	C	A	A	G	C	A	C	A	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A					
baboon	C	A	G	A	C	A	A	C	A	A	C	A	C	T	G	A	T	C	A	C	C	A	A	G	C	A	C	A	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A					
macaque	C	A	G	A	C	A	A	C	A	A	C	A	C	T	G	A	T	C	A	C	C	A	A	G	C	A	C	A	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A					
marmoset	C	A	G	A	C	A	A	C	A	A	C	A	C	T	G	A	T	G	A	C	C	A	A	G	C	A	C	A	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	C	G	G	T	A					
galago	C	A	T	A	T	G	A	C	A	A	A	A	A	C	-	A	A	T	C	A	C	C	A	A	G	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	T	A	A	A	T	A	T	T	G	A	C	A	G	T	A				
rat	-	-	-	-	T	A	C	C	A	G	-	-	A	C	A	C	T	A	G	A	C	A	G	T	A	G	G	C	A	T	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	A	G	T	G	G	A	C	A	A	A	A	T	G	T	T	G	A	T	A	G	T	A	
mouse	-	-	-	-	A	C	A	G	A	C	A	C	A	C	A	A	G	A	C	A	G	C	A	A	A	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	C	A	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A			
rabbit	T	G	A	G	T	A	A	C	A	G	A	A	A	T	G	C	T	T	A	C	C	A	A	A	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	T	C	A	A	T	G	T	G	G	A	C	A	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A			
cow	C	A	C	A	C	G	A	C	A	A	A	C	G	C	G	A	T	C	A	C	C	A	A	A	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	C	A	A	C	A	G	A	T	A	C	T	G	A	T	G	G	T	G	
dog	C	A	A	A	T	G	A	C	A	G	A	A	A	C	A	C	T	G	A	-	-	-	A	T	A	A	A	G	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	C	G	T	G	G	A	T	A	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A
rftat	C	G	A	A	C	G	A	A	A	A	C	G	C	T	G	A	T	T	A	T	C	A	A	A	C	A	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	G	T	G	G	A	T	A	A	A	A	T	A	T	T	G	A	T	G	G	T	A			
shrew	C	A	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	G	A	C	C	C	A	G	A	T	A	C	A	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	T	C	A	G	C	G	T	G	G	A	C	A	C	A	A	T	A	T	T	G	A	C	G	G	T	A				
armadillo	C	G	A	A	T	G	A	C	A	A	A	C	G	C	T	A	G	T	T	A	A	C	A	G	A	C	C	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	T	C	A	G	T	G	T	G	G	A	C	A	A	A	G	A	T	T	G	A	C	G	G	T	A					
elephant	A	T	A	A	A	A	C	A	G	A	A	A	T	G	A	G	A	T	T	C	C	T	A	A	A	C	A	C	G	T	A	C	C	T	T	T	G	T	T	T	T	C	A	G	A	G	T	G	G	A	T	A	A	C	A	A	G	A	C	T	G	A	C	G	G	T	A		

Abchnitt überlagerter DNA-Sequenzen von 15 vertebrierten Spezies; das Konsensusymbol jeder Spalte ist grau hinterlegt und Unterschiede vom Konsensusymbol sind weiß markiert

The DNA sequencing efforts of the past years together with rapid progress in sequencing technology have generated vast amounts of sequence data available in public databases. This recent development makes it statistically feasible to apply universal concepts from Shannon's information theory to problems in molecular biology, e.g. to use mutual information for gene mapping and phylogenetic classification.

By introducing proper mutual information based compression distance measures for classification we were able to reconstruct phylogenetic trees of various species and human populations in order to study their migrational patterns. We have also successfully applied mutual information to population based gene mapping, whose aim is to find genome positions responsible for a particular trait or disease.

The availability of huge datasets raises the question of appropriate source coding techniques for the purpose of storage and distribution. Particularly large are multiple sequence alignments of whole genomes, for which we have developed suitable compression algorithms. Especially, the use of evolutionary side information leads to considerable improvements in the overall compression rate.

An overview of the topics covered by our „Communication and Information Theory in Genetics“ research group is provided in [1]. The achieved results demonstrate how enriching to both communities this kind of interdisciplinary research can be.

Rasante Fortschritte in der Sequenzierungstechnik führen zu einer exponentiellen Zunahme der Einträge in molekularbiologischen Datenbanken. Für die Auswertung, Analyse und Interpretation dieser Datenbestände werden neue und effizientere Methoden benötigt, um die Verarbeitung und Auswertung der genetischen

Information auf der molekularen Ebene in der Zelle besser zu verstehen.

Shannons universelle Definition von Information ermöglicht es, die aus der Kommunikations- und Informationstheorie bekannten Methoden bei der Untersuchung der genetischen Information anzuwenden. Mittels geeignet definierter Distanzmaße ist es z. B. möglich, die Abstände zwischen homologen DNA-Abschnitten, die in ihrer Sequenz auf einen gemeinsamen Vorläufer zurückzuführen sind, zu berechnen. Wir haben hierzu ein für die Klassifizierung geeignetes, auf der Transinformation basierendes Kompressionsdistanzmaß eingeführt, um die phylogenetische Bäume verschiedener Tierarten und Menschenpopulationen aufzustellen und deren Migrationsmuster zu studieren. Die Abbildung zeigt einen solchen phylogenetischen Baum.

Die Transinformation kann ebenfalls erfolgreich zum Zwecke der Genkartierung eingesetzt werden. Diese hat zum Ziel, verursachende Stellen für ein bestimmtes Erscheinungsbild eines genetisch determinierten Merkmals im Genom zu finden.

Die Verfügbarkeit großer Datensätze stellt neue Herausforderungen an die Quellencodierung. Effiziente Kompressionsverfahren sind erforderlich, um die zur Speicherung und Übertragung notwendige Datenmenge zu reduzieren. Besonders umfangreich sind dabei Sequenzalignments ganzer Genome von komplexen Spezies, für die wir geeignete Kompressionsalgorithmen entwickelt haben. Ein Sequenzalignment stellt das Ergebnis der Suche nach homologen Bereichen in unterschiedlichen Genomen dar. Es veranschaulicht die Unterschiede, die sich im Zuge der Evolution angesammelt haben.

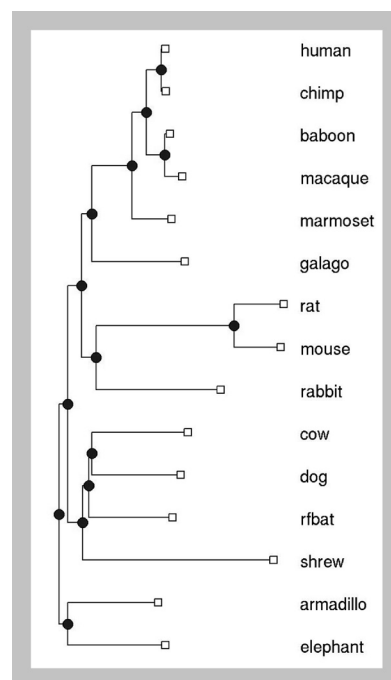
Die Abbildung auf der letzten Seite im Beitrag von Janis Dingel zeigt ein solches Alignment. Neben Punktmutationen sind hier auch

Auslöschungen und Einfügungen zu erkennen. Die Ähnlichkeit zwischen den Sequenzen hängt von ihrer evolutionären Distanz ab. So kann man die im phylogenetischen Baum enthaltene Information auch dazu nutzen, hohe Kompressionsraten zu erzielen.

In [1] finden Sie eine Übersicht über die Arbeiten unserer interdisziplinären Forschungsgruppe. Die erreichten Ergebnisse demonstrieren, wie bereichernd interdisziplinäre Forschung für beide Gebiete – Biologie und Informationstechnik – sein kann.

Literatur:

- [1] Hanus, P.; Göbel, B.; Dingel, J.; Weindl, J.; Zech, J.; Dawy, Z.; Hagenauer, J.; Müller, J.C.: Information and Communication Theory in Molecular Biology. – In: *Electrical Engineering*, Springer-Verlag, April 2007



Beispiel eines evolutionären Baums

Die Arbeiten der ComInGen-Gruppe am LNT konzentrieren sich auf die Analyse statistischer Modelle für die genetische Informationsverarbeitung in der Zelle. Der Erfolg praktischer Implementierungen neuer Ansätze für biologische Problemstellungen hängt von einer sorgfältigen Validierung einschließlich des biologischen Systems und der verwendeten Daten ab. Die optimale Analyse kombiniert eine ausreichende Datenbasis mit einer klaren Interpretation der Ergebnisse und dem Vergleich mit anderen Arbeiten.

Die Genomsequenzen von Retroviren werden allgemein als eine gute Wahl angesehen, um neue Algorithmen und Modelle zu entwickeln und zu testen.

Based on the current achievements of the ComInGen (Communication

Biological Support of Theoretical Investigations

Vladimir Kuryshev

and Information Theory in Genetics) group three major topics were chosen to support their further investigations:

- promoter modeling,
- development of novel methods for phylogenetic analysis based on multi-sequence alignments,
- implementation of compression-based algorithms for classification of genetics data.

Retroviruses (RVs) have several characteristics which make them a perfect candidate to be used as a model for our studies:

- 1) Retroviruses of both types, endogenous and exogenous, ERV and XRV, respectively, are under intensive studies of research and supported by multi-sources experimental data sufficient for statistical analysis.
- 2) Relatively small and compact genome of retroviruses contains genetic information essentially required for its replication in host cell, that suggests presence of gene regulatory characteristics, which are shared with those of eukaryotic organisms.
- 3) Evolutionary studies of ancient

retrovirus insertions (ERVs) within almost all vertebrate genomes revealed that they could have an important role in large-scale genomic rearrangements, in transcription regulation network of host cells and in the origin of novel genes. This makes RV genomes an interesting subject for the development of novel methods applicable to modern genomics.

Our current and prospective projects include:

1) Statistical analysis of long terminal repeats (LTR, regulatory elements of the RV genomes) aiming to model simple eukaryotic promoters. Remarkable sequence divergence of the LTRs among the RVs and correlation with host preferences strongly suggests their regulatory attachment to the transcription system of the host cells. Therefore, the perspective study may help to understand their common features.

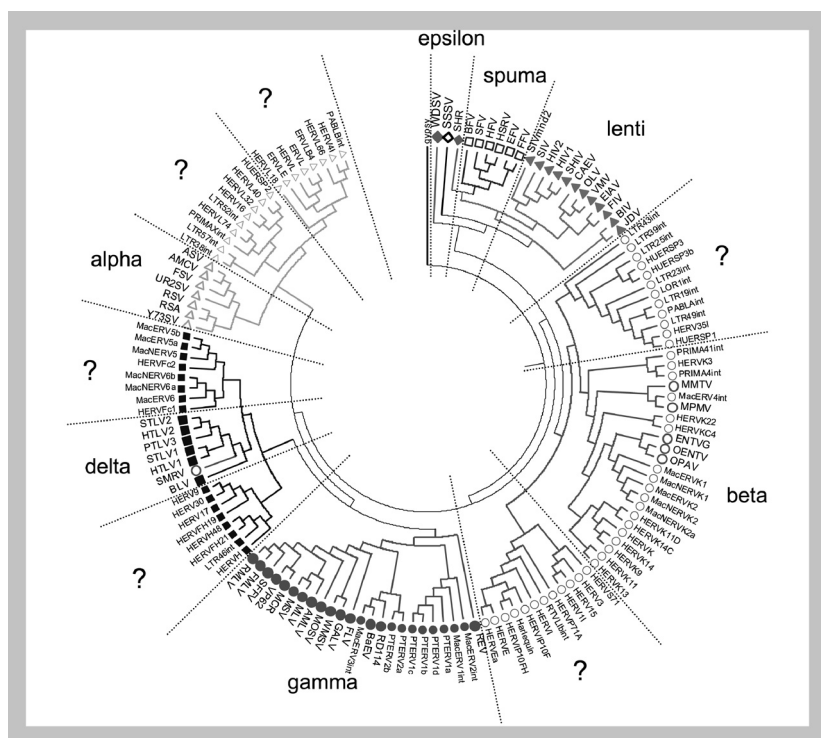
2) Unequal mutation rate along genomic DNA of RVs and the availability of huge amount of experimental data (e.g., for HIV studies) allows us to validate novel algorithms for the detection of specific sites within the RV genomes evolving under different selective pressure and to measure their substitution rate.

3) Due to the high sequence divergence of ERV genomes and limitations of standard sequence alignment-based methods current classification of ERVs still remains confusing. A novel compression-based approach for the classification of ERV genomes was proposed to solve this problem [1].

Preliminary results (see Figure) demonstrate a good agreement with published data and provided new observations, which require further investigations.

Literature:

- [1] Kuryshev, V.Y; Hanus, P.: Compression Based Classification of Primate Endogenous Retrovirus Sequences. – In: *Proc. 5th Intern. Workshop on Computational Systems Biology*, Leipzig, 2008



Topology tree of ERVs and XRVs based on compression similarity

Überblick der Arbeiten des Fachgebiets Leitungsgebundene Übertragungstechnik

Norbert Hanik



The Wired and Optical Communications group has been founded in 2004, and the first generation of Ph.D. students is about to finish their works. One more external research project has started, thus our research group has currently five assistants.

Seit dem 1. April 2004, als ich meine Tätigkeit als Professor am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik begonnen habe, sind nun schon mehr als vier Jahre vergangen. Dies überrascht und bestürzt mich etwas, zeigt es doch, wie schnell bei konzentrierter Arbeit in anregender und freundschaftlicher Atmosphäre die Zeit vergeht. Auch meine erste Doktoranden-Generation ist in ihren Arbeiten schon weit fortgeschritten. Einige geförderte Forschungsprojekte sind nach dreijähriger Laufzeit bereits beendet. Für jeden Doktorand ist jedoch noch ein genügender Zeitpuffer vorhanden, um seine wissenschaftliche Arbeit am LNT abzuschließen und eine – sicherlich exzellente – Dissertation zu verfassen.

Die Lehre im Fachgebiet *Leitungsgebundene Übertragungstechnik* läuft erfolgreich. Neben den Vorlesungen

- Grundlagen der Informationstechnik (LB),
 - Nachrichtentechnik 1: Signaldarstellung (LB) und
 - Nachrichtentechnik 2: Modulationsverfahren (LB),
- für angehende Berufsschullehrer und Studenten der Betriebswirtschaft machen mir meine Kernvorlesungen
- Leitungsgebundene Übertragungstechnik und
 - Optical Communication Systems (in Englisch, auch für MSCE)

sowie das parallel stattfindende Optical Communication Systems Lab viel Freude. Zusätzlich biete ich gemeinsam mit Prof. Kötter je ein Seminar für den EI- und den MSCE-Studiengang an.

Die Vorlesungen und Übungen werden im Durchschnitt von 60 bis 80 Studenten aus den unterschied-

lichsten Ländern besucht. Die Vielfalt der Nationalitäten – und damit auch sehr unterschiedliche Arbeitsweisen – ist sicher auch für die deutschen Studenten ein Gewinn. Die angebotenen Lehrveranstaltungen sorgen aber auch für einen stetigen Zustrom an Diplomanden bzw. Studienarbeitern und bieten daher auch einem gewissen Eigennutz.

Durch ein weiteres gemeinsames Forschungsprojekt mit der Industrie konnte die Anzahl meiner Assistenten in der Forschungsgruppe *Optische Nachrichtentechnik* auf fünf aus drei Nationen erhöht werden. Im Folgenden werden deren Forschungsgebiete und administrativen Aufgaben kurz genannt. Weitere Informationen finden Sie auf den nächsten Seiten.

Dipl.-Ing. *Bernhard Göbel* besetzt meine einzige C1-Landesstelle als wissenschaftlicher Assistent. Er beschäftigt sich sehr erfolgreich mit informationstechnischen Grenzen der optischen Signalübertragung, einem vor allem wegen der vielfältigen nichtlinearen Störungen des optischen Kanals sehr komplexen Thema (siehe S. 57). Zudem leitete er das im Rahmen von Tempus geförderte, nun abgeschlossene EU-Projekt CITPER.

Dipl.-Ing. *Florian Breyer* bearbeitet in einer Forschungskooperation mit der Siemens AG ein Projekt zur Untersuchung der optischen Datenübertragung über Polymerfasern. Zunächst wurde hier ein umfassendes neuartiges Modell für den Übertragungskanal entwickelt, das als Grundlage für die theoretische und simulationstechnische Untersuchung unterschiedlicher Modulations- und Entzerrerverfahren dient (siehe S. 54). Die vielversprechendsten Ansätze werden abschließend in ein funktionstüchtiges System in Hardware umgesetzt.

Leonardo D. Coelho, M.Sc., untersucht und optimiert den Einsatz mehrstufiger Modulationsformate für hochbitratige optische Übertragungssysteme über Standardfasern

mit Kanaldatenraten bis 100 Gbit/s. In diesem Projekt fungiert der LNT als Unterauftragnehmer von Nokia Siemens Networks im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts *Efficient and Intelligent Optical Backbone* (EIBONE). Im Rahmen dieser Arbeit wurden einige wichtige, komplexe Probleme theoretisch gelöst. Anschließend wurden die entwickelten Modelle in Zusammenarbeit mit dem Heinrich Hertz-Institut Berlin experimentell verifiziert (siehe S. 55).

Dipl.-Ing. *Stephan Hellerbrand* bearbeitet ebenfalls im Rahmen von EIBONE in Zusammenarbeit mit der Deutschen Telekom AG ein Forschungsprojekt zur optimierten Vorverzerrung und zur Entzerrung hochbitratiger optischer Übertragungssysteme. Hier wurden verschiedene Methoden zur Beseitigung der linearen und nichtlinearen Störungen in optischen Übertragungssystemen entwickelt und untersucht (siehe S. 58). Da dieses Thema auch in einigen Forschungsgruppen, zum Beispiel an der TU Berlin und am University College London, bearbeitet wird, ergeben sich hier hochinteressante Diskussionen und die Möglichkeit zur nationalen und internationalen Zusammenarbeit

Unser Neuzugang zum Juli 2007, *Oscar Gaete*, M.S., beschäftigt sich im Rahmen des BMBF-Projektes *Packet 100* als Unterauftragnehmer von Nokia Siemens Networks ebenfalls mit der optischen Übertragung bei höchsten Datenraten von 100 Gbit/s und mehr (siehe S. 56). In diesem noch relativ jungen Projekt wurden schon schöne Ergebnisse erzielt, z. B. ein Algorithmus zur schnellen Optimierung des Streckenaufbaus optischer Weitverkehrssysteme und die Konzipierung eines optischen „Stereo“-Multiplexverfahrens.

Basisbandmodulationsverfahren und Entzerrungsverfahren für die Datenübertragung über optische Plastikfasern

Florian Breyer

Polymer Optical Fibers (POF) are the most promising solution for short reach optical interconnects, such as automobile multimedia buses, industrial Ethernet and in-house networks. They combine all the benefits of optical fibers with amazing easy handling due to the large diameter of up to 1mm. The main drawbacks of these fibers are the large attenuation of about 150 dB/km (650nm) and the bandwidth-length product of approx. 35 Mhz×100m due to modal dispersion.

In this work we want to increase the data-rate length product by using baseband modulation formats in combination with transmitter predistortion or receiver equalization. The target of this work is getting a real-time demonstrator for Gigabit-Ethernet using light-emitting diodes.

In der Datenkommunikation werden zunehmend optische Polymerfasern

(POF) auf kurzen Entfernungen bis zu 100 Meter eingesetzt. Diese werden heute schon in Multimediabussystemen im Automobilbereich (MOST), in der Industrieautomatisierung (Industrial Ethernet, PROFINET) und auch im Heimbereich zur Anbindung von Set-Top-Boxen an DSL-Router eingesetzt. Dabei werden sehr hohe Datenraten bis zu 100 Mbit/s, aber nur Entfernungen von bis zu 100 m unterstützt.

Die großen Vorteile dieser Fasern liegen in der einfachen Handhabung und dem großen Kerndurchmesser von bis zu 1 mm. Um eine Verbindung zu installieren, benötigt man entweder keinen Stecker oder es genügen Spritzgussstecker mit sehr großen Toleranzwerten aufgrund des Faserdurchmessers und der großen numerischen Apertur von $NA=0.5$. Desweiteren lässt sich diese Faser mit einem einfachen Schneidewerkzeug konfektionieren, so dass eine Do-it-yourself Installation möglich ist.

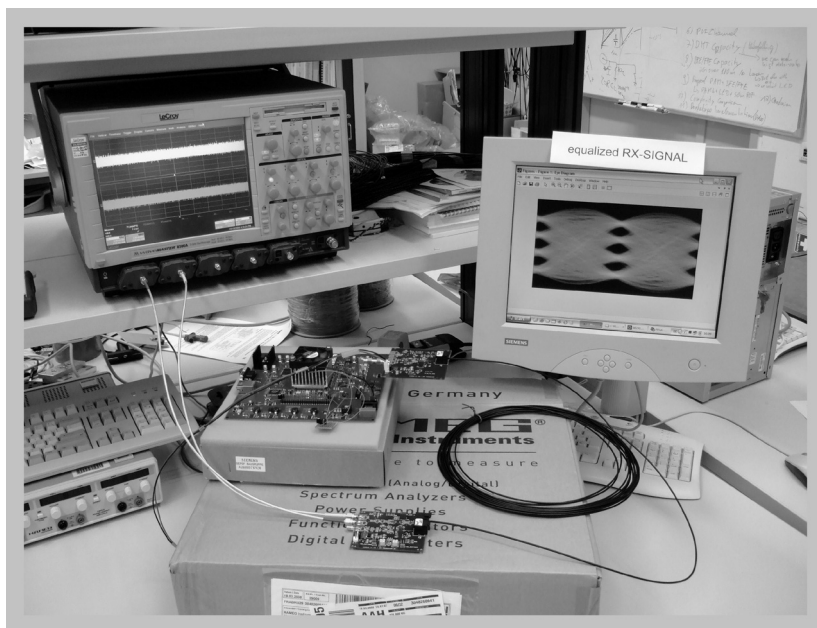
Die großen Nachteile der Plastikfasern sind die große Dämpfung von ca. 150 dB/km und das kleine Bandbreiten-Längen-Produkt von ca. 35

MHz x 100 m aufgrund von Modendispersion.

Um das Verhalten dieser Faser simulieren zu können, wurde in den letzten Jahren ein Kanalmodell der Stufen-Index-Plastikfaser entwickelt und implementiert, da bisher nur Kanalmodelle für Einzeleffekte bekannt waren. Um zuverlässige Aussagen zur Leistungsfähigkeit eines Übertragungssystems machen zu können, muss aber noch ein Feinabgleich des neuen Kanalmodells mit gemessenen Daten durchgeführt werden. Dies soll in nächster Zeit in den Labors von Siemens Corporate Technology geschehen.

Der Hauptfokus dieser Arbeit liegt in der experimentellen Untersuchung von Basisbandmodulationsverfahren in Kombination mit Entzerrverfahren am Empfänger. Hierzu wurde in enger Zusammenarbeit mit einem Doktoranden der Technischen Universität Eindhoven (Jeffrey Lee) ein Labor bei der Siemens CT eingerichtet, so dass wir in der Lage sind beliebige Wellenformen zu erzeugen, die zuvor in Matlab berechnet wurden, diese dann mit optischen Sendeelementen (LED, Laser oder VCSEL) zu koppeln, über Plastikfasern zu übertragen und empfangsseitig mit Hilfe eines digitalen Speicheroszilloskops auf zu zeichnen. Diese Daten können anschließend im PC wieder verarbeitet werden. Somit lassen sich verschiedenste Signalverarbeitungsalgorithmen unter realen Bedingungen auf ihre Leistungsfähigkeit testen und evaluieren.

Zurzeit arbeiten wir an einer Echtzeit-Implementierung eines Gigabit-Ethernet-Medienkonverters, basierend auf einer Kombination aus einer vierstufigen PAM und linearer Entzerrung. Dazu haben wir eine Platine entworfen, die einen programmierbaren Logikbaustein (FPGA) zur digitalen Signalverarbeitung und schnelle DA- und AD-Konverter besitzt. Die nebenstehende Abbildung zeigt den Messaufbau im Labor bei Siemens CT.



Labora Aufbau zur Echtzeit-Implementierung eines Gigabit-Ethernet-Medienkonverters (links unten FPGA-Platine, links oben Speicheroszilloskop, rechts oben blockweise Empfangssignalverarbeitung mit Matlab)

Accurate Evaluation of the Bit-Error Rate in Optical Communication Systems

Leonardo Coelho

6
Arbeitsgebiete

Die Gültigkeit der BER-Berechnung wird numerisch und experimentell nachgewiesen, auch bei Berücksichtigung des nichtlinearen Phasenrauschens. Die numerische Methode basiert auf der Karhunen-Loève-Expansion. Die nichtlineare Wechselwirkung zwischen Signal und Rauschen kann mittels einer linearisierten Schrödinger-Gleichung richtig berücksichtigt werden. Unsere numerischen Ergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmung mit Experimenten.

The performance of an optical communication system is often measured in terms of bit-error rate (BER) or the bit error probability. For these systems, the main source of degradation is the accumulated amplified spontaneous emission (ASE) noise generated by the optical amplifiers. When the light propagates inside the fiber, the ASE noise interacts with the signal through the Kerr effect, inducing nonlinear signal phase fluctuations. This is known in the literature as nonlinear phase noise. These effects, together with arbitrary filtering and chromatic dispersion, make the accurate evaluation of the BER the most complex part of the receiver model. The most straightforward method to evaluate the BER is the standard Monte Carlo simulation. It includes the interaction between signal and noise and is often used as reference for other simulation techniques. However, the computational effort to evaluate BER's smaller than 10^{-5} is so large that it becomes impractical to apply this method for system optimization.

Conventional methods that approximate the probability density functions at the receiver to a Gaussian distribution or use the standard Q-factor analysis do not work in all cases. Therefore, the BER should be computed using the exact probability density functions. If the received optical noise can be considered white and Gaussian, the BER can be exactly evaluated using several meth-

ods based on the principle of Karhunen-Loève series expansion. If fiber nonlinearities are of concern, the received optical noise is no longer white. However, under some assumptions it can still be considered Gaussian, e.g., if the system has enough dispersion, filtering or even polarization-mode dispersion (PMD).

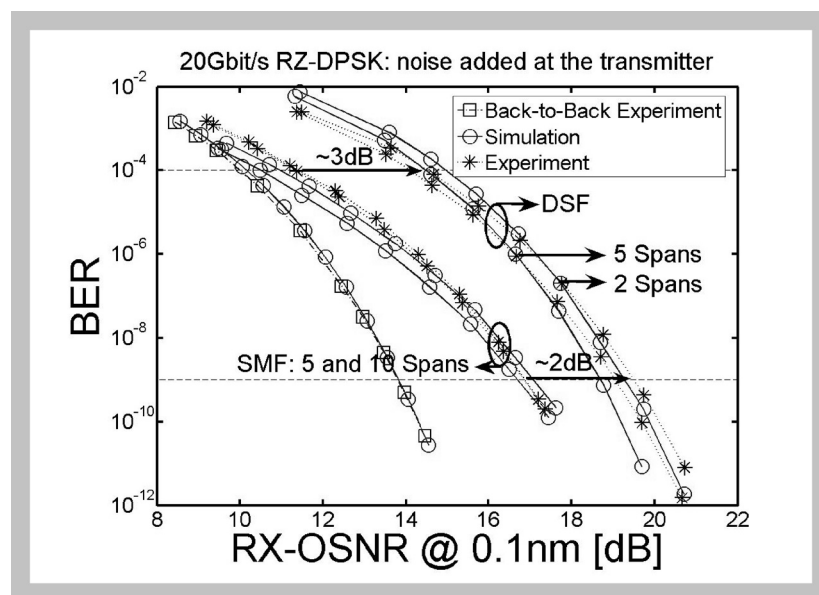
In this case, linearization techniques of the Nonlinear Schrödinger Equation (NLSE) can be applied together with Karhunen-Loève expansion to evaluate the BER. This method can yield accurate BER results, taking into account ASE noise, pulse shaping, optical and electrical filtering, interferometer phase error and nonlinear phase noise.

The figure shows the numerical and experimental evaluation of the BER for an optical communication system using DPSK at 20 Gbit/s. Depending on the number N of spans, the total fiber input power was set such that the accumulated mean nonlinear phase shift amounts to 0.9 rad. The optical signal was transmitted over $N = 2$ and $N = 5$ spans of dispersion-shifted fibers (DSF). The BER was calculated using the extended Karhunen-Loève expansion method, which agrees very well with the experimental results. After that the opti-

tical signal was transmitted $N = 5$ and $N = 10$ times over a fully dispersion compensated span (SMF+DCF). A gain of 3 dB and 2 dB from the DSF curve was observed for low and high optical Signal-to-Noise-Ratio (OSNR). It suggests that a system can have the same performance either employing compensation of nonlinear phase noise or FEC. For 5 and 10 spans, the performance is almost the same, showing that the BER depends solely on the mean nonlinear phase shift. This result gives the basic relation between reach-distance and power for a given performance.

Literatur:

- [1] Gnauck A.H.; Winzer P.J.; Optical Phase-Shift-Keyed Transmission. In: *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 23, Jan. 2005
- [2] Coelho, L. et al: Numerical and Experimental Investigation of the Effect of Dispersion on Nonlinear Phase Noise in RZ-DPSK Systems. In: *Proc. 33rd Europ. Conf. on Optical Communications*, Berlin, Sept. 2007



Numerical and Experimental Evaluation of the BER

Modulation Formats and Equalization for 100 Gbits Ethernet in Single Mode Fiber

Oscar Gaete

Der nächste Standard für die Übertragung optischer Signalen durch die Kernnetze wird Ethernet mit einer Datenrate von 100 Gbit/s sein, was aufgrund mehrerer Effekte durch die Wechselwirkung von Licht und Faser wie z.B. chromatische Dispersion und Polarisationsmodendispersion die Anforderungen an das Systemdesign bei dieser hohen Datenrate erhöhen wird. In enger Zusammenarbeit mit Nokia Siemens Networks untersuchen wir neuartige Modulationsformate und ihre Robustheit gegenüber den genannten Störungen.

Due to the exponential increase in data traffic through the optical communication networks, intensive research is being conducted in order to expand the channel data rate capacity. It is also commonly accepted, that the future data transmission through optical fiber will be based in the communication and switching technology Ethernet, firstly developed for the packet-based local area networks, but nowadays gradually migrating to the access-networks and even to the metro- and core-networks. At present, 10 Gbit/s Ethernet channels are available. In the future, 100 Gbit/s Ethernet is expected. However, this increase in data rate places an extreme requirement on the design of the optical communication system. Several dynamics due to the interaction of light with the

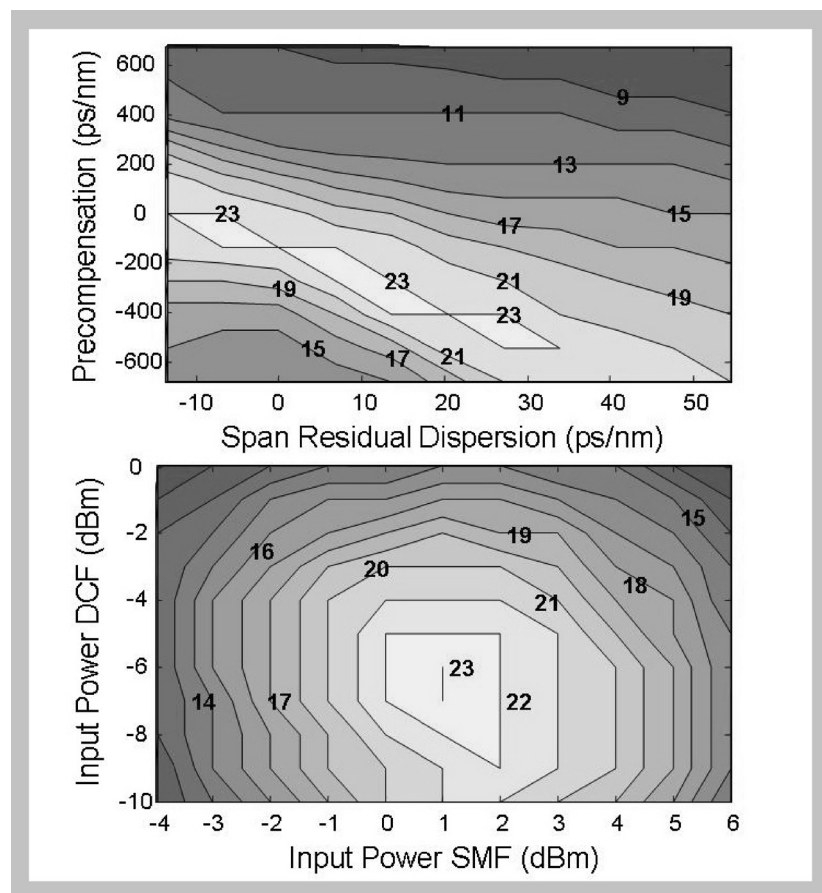
fiber limit the robustness of the communication system, i.e., chromatic dispersion, PMD, SPM, XPM, etc. These ones are, in the worst case, time and temperature dependent. Should a robust and reliable transmission system be designed, different concepts have to be considered: firstly, a digital modulation format with more than two possible states (e.g. QPSK) would reduce the signal bandwidth and decrease the impairments in the transmission. Secondly, adaptive equalization methods at the receiver can be used to compensate for the time-varying nature of the channel.

Consequently, we are focused on the analysis of different M -ary modulation formats (specially DQPSK) in both single channel, and WDM operation and through simulations and laboratory experiments, vary the system parameters (i.e., symbol rate, input power, dispersion map, etc.) in order to observe the robustness of the system (see figure). However, due to the long transmission distances and huge bandwidth of the signals, the complexity of the simulations grows exponentially. Therefore we are as well focused on the development of numerical algorithms that allow us to optimize the performance of a system with reduced computational burden [1].

Additionally, different receiver equalization schemes (FFC, MLSE) are being characterized in order to optimize the performance of the whole WDM system. Likewise, we consider the possibility of sharing the data stream of one Ethernet channel in several wavelengths (1x100Gbit/s, 2x50Gbit/s, 3x4Gbit/s, etc.) analyzing which combination performs the best.

Literatur:

- [1] Gaete, O. et al.: Global Optimization of Optical Communication Systems. In: *Proc. 34 Europ. Conf. on Optical Communications*, Brüssel, Sept. 2008



Optimum parameters for the transmission of 23 concatenated sections of 80 km of SSF, single channel DQPSK

The huge available bandwidth of optical fibers has comfortably supported the exponential increase of transmitted data in the past. With future technologies such as IPTV, video on demand or HDTV, the demand for transmission rates is predicted to continue its exponential growth. Advanced modulation schemes and receiver and equalizer structures are under research that will increase the spectral efficiency of fiber-optic communication systems dramatically; future systems will operate at data rates much closer to the channel capacity. This value, however, is limited by fiber and receiver nonlinearities and other effects. Our research aims at identifying these effects and suggesting strategies for an optimized system design in an information-theoretic sense.

Glasfasern bieten enorme zur Datenübertragung nutzbare Bandbreiten und haben sich daher zum Übertragungsmedium der Wahl für das weltweit exponentiell anwachsende Datenaufkommen entwickelt. Neue Anwendung wie etwa IPTV, HDTV oder Video-on-Demand lassen auch für die Zukunft eine weiter stark ansteigende Nachfrage nach Übertragungskapazität erwarten. Da das Verlegen neuer Glasfaserkabel mit enormen Investitionen verbunden ist, besteht großes Interesse an Verfahren, die die vorhandene Infrastruktur durch Erhöhung der spektralen Effizienz des übertragenen Signals besser ausnutzen. So wird z. B. vermehrt an der Verwendung höherstufiger Modulationsverfahren, Polarisationsmultiplex, kohärenten optischen Empfängern und Methoden der Signalverarbeitung zur Entzerrung von optischen Signalen geforscht. Diese Methoden tragen dazu bei, dass künftige Systeme deutlich näher an der Kanalkapazität operieren werden als heutige. Es ist daher wichtig, die durch die Informationstheorie gesetzten Grenzen für optische Systeme besser zu verstehen.

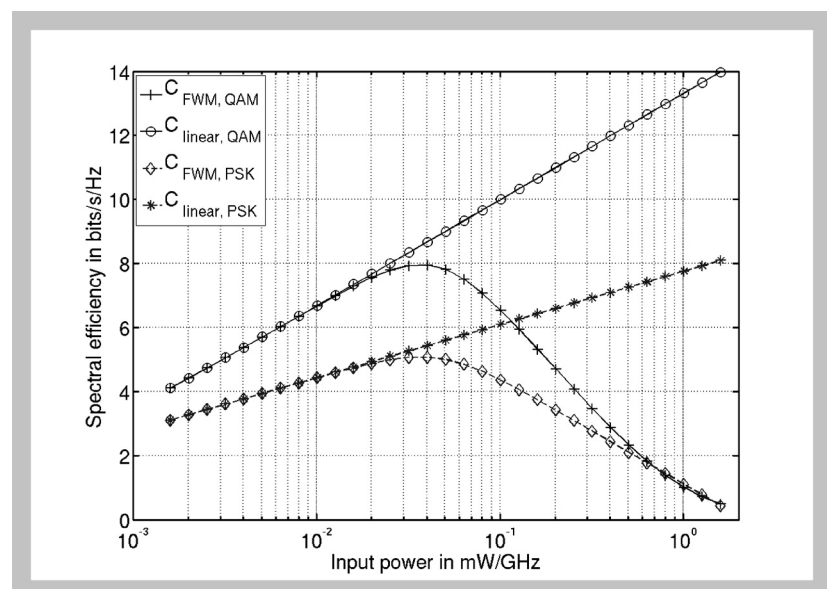
Die Kanalkapazität eines solchen Systems wird durch zahlreiche physikalische Ursachen begrenzt. Ziel unserer Forschung ist es zum einen, diese Ursachen zu identifizieren und verlässliche Schätzungen für die Kapazität anzugeben, sowie aus diesen Erkenntnissen Regeln für den Entwurf leistungsfähiger Übertragungssysteme abzuleiten.

Die größte Einschränkung erfährt die Kanalkapazität eines faseroptischen Systems durch das nichtlineare Faserverhalten. Dies führt zu leistungsabhängigen Störungen und somit – sofern diese nicht kompensiert werden (können) – dazu, dass die Kapazität und damit auch die spektrale Effizienz über der Sendeleistung ein Maximum aufweist. Die Abbildung zeigt die Kapazität abhängig von der Leistung für einen linearen AWGN-Kanal und den durch Vierwellenmischung (FWM) gestörten Faserkanal, und zwar bei Gaußschem Eingang (Grenzfall QAM) und für Signale konstanter Leistung (PSK). Es zeigt sich, dass für theoretische Untersuchungen, aber auch zur Entwicklung von Methoden zur Störungsreduktion die Betrachtung von Subträgersystemen wie beispielsweise OFDM hilfreich ist [1].

Die neben dem Rauschen einzige stochastische Störquelle ist die sog. Polarisationsmodendispersion. Dieser Effekt bewirkt zufälliges Übersprechen von Signalen mit orthogonalen Lichtpolarisationen. Hierdurch kann sich – abhängig von der Empfängerstruktur – die Kapazität drastisch verringern [2]. Es lässt sich jedoch zeigen, dass bei Verwendung von kohärenten Empfängern mit Polarisationsdiversität die Kapazität des entstehenden 2x2-MIMO-Kanals im Idealfall nicht beeinträchtigt wird.

Literatur:

- [1] Göbel, B., Fesl, B., Hanik, N.: On the Effect of FWM in Coherent Optical OFDM Systems. In *Proc. OFC 2008*, San Diego, USA, März 2008.
- [2] Göbel, B., Kuschnerov, M., Hanik, N.: On the Effect of PMD on the Channel Capacity of Coherent Fibre-Optic Communication Systems. In *Proc. ICTON 2007*, Rom, Italien, Juli 2007.



Spektrale Informationsdichte (Maß für die Kanalkapazität) eines optischen Übertragungssystems der Länge 400 km

Fiber-optic transmission is subject to certain impairments that result from the fiber's chromatic dispersion (CD), polarization and nonlinear effects. The interaction of these effects leads to intersymbol interference (ISI). Another effect, polarization-mode dispersion (PMD), which produces polarization dependent signal propagation, also contributes to ISI. In long-haul high-speed transmission links these effects have to be mitigated. We investigate different approaches to achieve this task. These approaches can be separated into receiver- and transmitter-side techniques.

Die Reichweite und die Qualität bei der Datenübertragung in Glasfasern mit hohen Kanaldatenraten von 10 Gbit/s und mehr wird u. A. durch die Wechselwirkung von chromatischer Dispersion der Glasfaser und Fasernichtlinearität begrenzt. Die chromatische Dispersion (CD) führt zu einer frequenzabhängigen Gruppenlaufzeit. Durch die Nichtlinearität entsteht eine von der Momentanleistung des Signals abhängige Phasenände-

Entzerrung für optische Glasfaserübertragungssysteme

Stephan Hellerbrand

rung. Das Zusammenspiel dieser Effekte führt zu Impulsinterferenzen (ISI). Der Grad der ISI nimmt mit steigender Faserlänge zu und führt letztlich zu einem undetektierbaren Signal. Ein weiterer störender Effekt bei hohen Datenraten ist die Polarisationsmodendispersion (PMD). Die physikalische Beschreibung der Wechselwirkung der Fasernichtlinearität – in diesem Kontext auch als *nichtlinearer Brechungsindex* bezeichnet – und der chromatischen Dispersion erfolgt mit der nichtlinearen Schrödinger-Gleichung [1].

Es sollen Techniken der digitalen Signalverarbeitung (DSP) untersucht werden, mit deren Hilfe die Reichweite und Robustheit optischer Übertragungssysteme für Kanaldatenraten von 10 Gbit/s und mehr verbessert werden kann. Als Übertragungsfaser betrachten wir die Standard-Single-mode-Faser. Eingehend untersucht wurde insbesondere die elektronische Vorverzerrung. Dabei wird bereits am Sender ein verzerrtes Signal generiert, das durch die Ausbreitung auf der Übertragungsstrecke zu einem unverzerrten Signal am Empfänger gewandelt wird. Dieses Verfahren erfordert die Verfügbarkeit schneller D/A-Wandler so wie die Möglichkeit, mit Hilfe von Mach-Zehnder-Modulatoren ein nahezu beliebiges komplexes Feld erzeugen zu können.

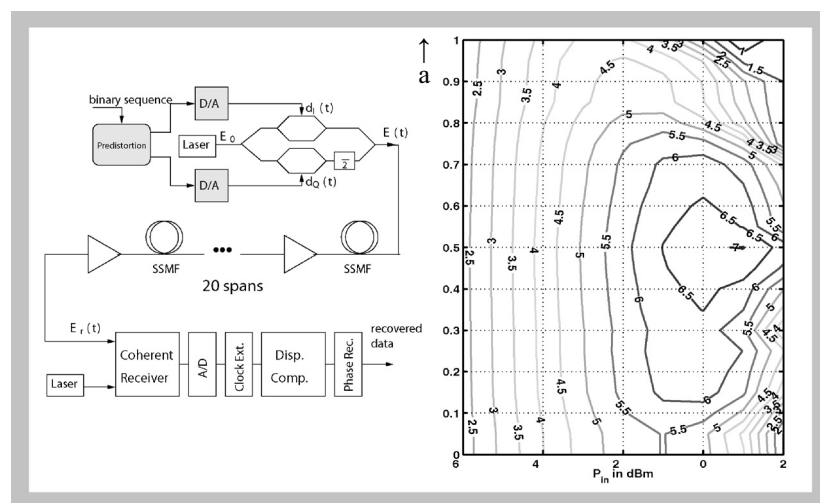
Untersucht wurde im Wesentlichen die Leistungsfähigkeit zur Kompensation von Fasernichtlinearitäten bei optisch dispersionskompensierten Strecken und die dafür erforderlichen Hardwareanforderungen [2]. Das Vorverzerrungskonzept wurde zudem für die PMD-Kompensation erweitert [3].

Außerdem wurden verschiedene empfängerseitige Verfahren untersucht, wobei der Fokus bei Direktempfang auf „Maximum Likelihood Sequence-Estimation (MLSE) lag. Untersucht wurde die Leistungsfähigkeit zur Kompensation von CD, PMD und dem Zusammenspiel mit Nichtlinearitäten. Dabei hat sich gezeigt, dass ein Empfänger mit Polarisationsdiversität einen beträchtlichen Gewinn erzielen kann [4]. Wegen des eventuell sehr großen Kanalgedächtnisses wurden auch komplexitätsreduzierte Ansätze mit in die Überlegungen aufgenommen.

Das kohärente Empfangskonzept hat in letzter Zeit wieder an Bedeutung gewonnen. Die Leistungsfähigkeit wird hierbei hauptsächlich durch nichtlineare Effekte begrenzt. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass eine anteilige Verteilung der CD-Kompensation auf Sender und Empfänger eine höhere Toleranz bezüglich Nichtlinearitäten erreicht.

Literatur:

- [1] Voges, E.; Petermann, K.: Optische Kommunikationstechnik. Springer-Verlag, 2002
- [2] Hellerbrand, S., Hanik, N. et al.: Advanced Modulation Formats for Electronic Predistortion of Intra-channel Nonlinearities at 40 Gbit/s. In: *Proc. 33rd Europ. Conf. on Optical Communications*, Berlin, 2007
- [3] Hellerbrand, S. et al.: Electronic Predistortion for Compensation of Polarization-mode Dispersion. Accepted: *SPIE Photonics West*, San Jose, 2009
- [4] Hellerbrand, S.; Hanik N.: Polarization-Diversity Turbo-Equalization of Polarization Mode Dispersion In: *Proc. 33rd Europ. Conf. on Optical Communications*, Berlin, 2007



Gemeinsame Entzerrung am Sender und Empfänger. Rechts: Ein erhöhter Signal-zu-Rauschabstand [dB] wird durch geeignete Aufteilung der Dispersionskompensation erreicht; a gibt den am Sender kompensierten Anteil an

Einige Vorbemerkungen zu den Forschungsprojekten

Günter Söder

The following texts compactly describe the 15 projects conducted during the reported period. These have been supported mainly by industrial partners, by the Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), and by the European Union. Eight of these projects were initiated by Prof. Kötter, four by Prof. Hanik and three began when Prof. Hagenauer was Head of the Institute.

Neben der Anzahl der Publikationen und den Lehraktivitäten ist die Drittmittelforschung ein weiteres wichtiges Kriterium der universitären Leistungsbewertung und damit auch ein entscheidender Faktor für die finanzielle Ausstattung der Lehrstühle. Es ist aus unserer Sicht sehr erfreulich, dass im Berichtszeitraum nicht weniger als 15 Forschungsprojekte bearbeitet wurden – trotz des Wechsels an der Spitze des

Lehrstuhls Ende 2006. Für die folgenden Beiträge ist jeweils nur eine halbe Seite vorgesehen. Wir verweisen auf die Kapitel 5 (Dissertationen) und 6 (Arbeitsgebiete).

Drei dieser Projekte wurden noch von Prof. Hagenauer akquiriert – siehe die Beiträge von Liebl/Jenkač, Weindl/Göbel und Dingel et al. Die Mitarbeiter S. Hellerbrand und L. Coelho von Prof. Hanik haben zwei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Verbundprojekts EIBONE (Efficient Integrated Backbone) geförderte Projekte nach jeweils 3 Jahren zum Abschluss gebracht. Die beiden Industrieprojekte von Prof. Hanik mit der Siemens AG (F. Breyer) bzw. mit Nokia Siemens Networks (O. Gaete) laufen dagegen noch ein bzw. zwei Jahre weiter.

Die Verbundprojekte ITMANET, CBMANET und „Sicherheitsaspekte

7

Extern geförderte Projekte

der Netzcodierung“ mit amerikanischen Partnern hat Prof. Kötter selbst durchgeführt. Alle seine Mitarbeiter bearbeiten zudem Forschungsprojekte zum Thema Netzcodierung, finanziert durch die EU (T. Lutz, D. Traskov), die DFG (J. Brauchle), der Siemens AG (M. Thakur) und DoCoMo Eurolab (G. Zeitler).

Echtzeitübertragung und Streaming von Video in paketorientierten drahtlosen Mehrbenutzer-Netzwerken

Günther Liebl und Hrvoje Jenkač

Zeitraum: 01.03.2004 – 28.02.2007
(Bericht ab 01.10.2006)

Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (GZ: HA 1358/11-1)

Projektpartner: Prof. Steinbach und W. Tu, beide TUM-LKN

Ziel dieses gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Kommunikationsnetze (LKN) durchgeführten Projekts war die Optimierung der paketorientierten Multimedia-Übertragung in mobilen Mehrnutzersystemen. Diese erfordert neben effizienten Kompressionsverfahren eine adaptive Anpassung der Übertragung an die aktuell verfügbaren Ressourcen und die momentane Kanalqualität. Besonders wichtig ist eine faire Aufteilung der Ressourcen zwischen Nutzern mit unterschiedlichen Güteanforderungen.

Im ersten Projektjahr wurde ein Modell zur Echtzeit-Videoübertragung in mobilen Mehrbenutzersystemen entwickelt. Darauf aufbauend wurde der Einfluss der Puffergrößen in der Basisstation auf die erzielbare Qualität untersucht. Im zweiten Jahr wurden die Ergebnisse für den Entwurf verbesserter Scheduler verwendet. Schließlich erfolgte im letzten Jahr – gemeinsam mit dem LKN – die Integration in eine schichtenübergreifende Systemarchitektur. Es konnten gegenüber herkömmlichen Entwurfsverfahren große Gewinne verzeichnet werden.

Optimization of packet-based multimedia transmission in a wireless multiuser environment does not only require efficient media compression algorithms, but also dynamic adaptation of the transmission strategies to

the available resource budget and channel characteristics. The goal is to achieve both a fair distribution of resources among users with different service requirements and an optimal allocation of these resources to the traffic flow on each separate link by always transmitting those packets which yield maximum expected quality at the receiver. During the first project period an abstract model of video transmission in a multiuser environment has been developed and applied to investigations on the influence of the radio link buffer size on end-to-end streaming quality given a number of state-of-the-art schedulers. In the second year these results have been used to improve scheduling algorithms. The main focus of the last year was on developing a cross-layer system design jointly with the LKN.

Collaborative IT Program for Education and Research (CITPER)

Johanna Weindl und Bernhard Göbel

Zeitraum: 01.09.2004 – 29.02.2008
(Bericht 01.10.2006 – 29.02.2008)

Förderung: Tempus-Programm der Europäischen Union

Projektpartner: American University of Beirut (Libanon), University of Southampton (UK), Siemens AG

CITPER war ein von der Europäischen Kommission im Rahmen des Tempus-Programms gefördertes Projekt mit dem Ziel, einen Graduiertenstudiengang in Informationstechnologie an der American University of Beirut (AUB) aufzubauen. Diesem Studiengang sollte u.a. das an der

TUM seit zehn Jahren sehr erfolgreich laufende internationale Studium *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE) als Beispiel dienen.

CITPER was a project funded by the European Commission within the Tempus framework. The project's main objective was the development of a model curriculum for a graduate program in information technology (IT) in the Middle East, with particular respect to the needs of European companies in the region. A new master program was started at the American University of Beirut (AUB), following the example of TUM's successful MSCE program. CITPER ended in February 2008 after three and a half years of successful collaboration between the project partners that resulted in the following main outcomes. First, the master

program in IT was launched, and the second class is already being enrolled. Second, several new courses and laboratories have been set up at AUB with the support of CITPER. These are now available also to students of other study programs of the department. Third, a PhD-program in Electrical and Computer Engineering has been started at AUB. It has attracted applications of excellent students, some of which were accepted to start their PhD-studies in fall 2007. Fourth, the bidirectional student and faculty exchange was continued. In contrast to most other Tempus-projects, an equal number of students from AUB and TUM spent exchange semesters in Munich and Beirut, respectively. The interest of German students in exchange semesters at AUB is all the more astonishing considering the political tensions in Lebanon.

Optimierte Vorverzerrung und Entzerrung hochratiger optischer WDM-Systeme

Stephan Hellerbrand und Norbert Hanik

Zeitraum: 01.10.2005 – 30.09.2008
(Bericht 01.10.2006 – 30.09.2008)

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Verbundprojekt *EIBONE*

Projektpartner:
Dipl.-Ing. Werner Weiershausen,
T-Systems International GmbH

Reichweite und Datenrate faseroptischer Übertragungsstrecken werden hauptsächlich durch chromatische Dispersion, Polarisationsmodendispersion, Faser-Nichtlinearität und deren Wechselspiel begrenzt. In diesem Projekt wurden verschiedene Methoden zur elektronischen Kompensation dieser Effekte bei hochbitratigen Systemen untersucht, die entweder auf einer Signalverarbeitung am Sender oder am Empfänger beruhen.

The reach and data rate supported by fiber-optic communication systems are mainly limited by chromatic dispersion, polarization mode dispersion, fiber nonlinearity, as well as the interplay of these effects. As a consequence, these effects need to be mitigated in high speed transmission systems. In recent years, due to the availability of high speed electronics, the electronic compensation by means of digital signal processing (DSP) has attracted a lot of attention. The aim of this project was to investigate signal processing methods for compensation of the fiber transmission impairments either by preprocessing the signals in the transmitter or by postprocessing in the receiver.

Various approaches have been studied. In particular, predistortion for the compensation of fiber non-

linearity in systems with inline optical dispersion compensation has been investigated. Results from numerical investigations indicate significant noise sensitivity improvements. Further simulations were carried out to determine the hardware requirements of such a scheme. Subsequently, the approach of electronic predistortion has also been extended to the compensation of polarization-mode dispersion (PMD).

In addition to that, it was found that receiver-side mitigation of linear and non-linear fiber effects using MLSE or iterative MAP decoders can be improved by employing polarization diversity. The complexity for this type of receiver increases rapidly with data rate and link distance. Therefore the use of reduced complexity schemes has also been investigated.

Untersuchung neuer Modulationsverfahren für optische Übertragungssysteme bei Datenraten bis 100 Gbit/s

Leonardo D. Coelho und Norbert Hanik

Zeitraum: 01.10.2005 – 30.09.2008
(Bericht ab 01.10.2006)

Förderung: Nokia Siemens Networks GmbH, Transport Technology

Projektpartner: Dr. Schmidt

Bei der optischen Übertragung mit hohen Datenraten über 10 Gbit/s wird die Qualität und die Reichweite durch unterschiedliche Effekte bestimmt: Neben dem stets vorhandenen Rauschen der optischen Zwischenverstärker und des Empfängers begrenzt die Glasfaser selbst durch die wechselwirkenden Effekte von Faser-Nichtlinearität und chromatischer Dispersion sowie durch die Polarisationsmodendispersion maßgeblich die Systemreichweite und die Toleranz des Übertragungssystems gegenüber Schwankungen der Betriebsparameter.

In diesem inzwischen beendeten Forschungsprojekt wurde für Kanalraten von 10 bis 100 Gbit/s das Potential mehrstufiger Modulationsverfahren umfassend untersucht und mit Binärverfahren verglichen. Für die mehrstufigen Verfahren wurden differentielle QPSK, höherstufige QAM sowie mehrstufige bipolare Amplitudenmodulation betrachtet. Verglichen wurden die Ergebnisse mit binärer DPSK-Intensitätsmodulation bei NRZ- und RZ-Sendesignalformat.

In long-haul optical communication systems with channel data rates above 10 Gbit/s the transmission quality and reach are determined by different effects: Apart from the noise of the inline optical amplifiers and the receiver, the glass fiber limits the system reach and parameters tolerance against fluctuations through

the interaction between nonlinear effects and chromatic dispersion (CD) as well as polarization mode dispersion (PMD).

In this project, the potential of advanced modulation schemes was examined and compared with binary schemes for data rates between 10 and 100 Gbit/s. For the advanced schemes, differential QPSK and high-level QAM as well as multi-level bipolar amplitude modulation were considered and compared with binary modulation schemes (NRZ and RZ intensity modulation as well as DPSK). A numerical model for BER evaluation in presence of phase noise was also implemented.

Optimierung und Entzerrung der optischen Signalübertragung über Plastikfasern

Florian Breyer und Norbert Hanik

Zeitraum: 01.10.2005 – 30.09.2009
(Bericht ab 01.10.2006)

Förderung: Siemens AG München, Abteilung CT IC2

Projektpartner: Dr. Randel

Optische Polymerfasern werden zunehmend in der Datenkommunikation über kurze Strecken bis 100 m und Datenraten bis 1 Gbit/s eingesetzt. Im Ethernet-Bereich sind Datenraten bis 10 Gbit/s angedacht. Aufgrund ihrer leichten Handhabbarkeit und geringen Kosten werden sie z.B. in Gebäuden, Flugzeugen und Kraftfahrzeugen verlegt. Wegen des großen Faserdurchmessers (1 mm) verschlechtern verschiedene Effekte wie Modendispersion, modenabhängige Dämpfung und Modenkopplung die Übertragungseigenschaften.

In diesem Projekt sollen Reichweite und Datenrate durch Anwendung optimierter Verfahren zur Signalentzerrung verbessert werden.

Polymer Optical Fibers (POF) are the most promising solution for short-reach optical interconnects. They combine all the benefits of optical fibers with amazingly easy handling. This is due to the large core diameter of up to 1 mm. The big disadvantages are the large attenuation of ≈ 150 dB/km (at 650 nm) and the small bandwidth-length product of 35 MHz $\times$ 100 m, due to modal dispersion.

In this project, we wanted to increase the data rate as well as the link distance by using digital baseband modulation formats in combination with transmitter predistortion and receiver equalization. Therefore we im-

plemented a simulation model of the fiber with all major effects, such as modal dispersion, mode-dependent attenuation and mode coupling. This enables us to do performance estimations of different modulation and equalization schemes.

The main focus of this project is the experimental demonstration of such systems. At the beginning of the project the transmission data-rate-length product records were in the range of 53.1 Mbit/s $\times$ km with laser diodes and 12.5 Mbit/s $\times$ km with light emitting diodes, respectively. We have pushed these records to 200 Mbit/s $\times$ km and 75 Mbit/s $\times$ km.

At the moment we are working on a real-time demonstrator for Gigabit-Ethernet transmission over 50 m SI-POF using red light emitting diodes, realized on a FPGA (Field Programmable Gate Array) platform.



Communications-Theoretic Analysis of Highly Conserved Non-Coding DNA Sequences

Janis Dingel, Pavol Hanus, Johanna Weindl und Joachim Hagenauer

Zeitraum: 01.03.2006 – 30.03.2009
(Bericht 01.10.2006 – 30.09.2008)

Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (GZ: HA 1358/10-1,2)

Projektpartner: Dr. J. Müller und Dr. V. Kuryshv (Max-Planck Institut für Ornithologie, Seewiesen)

Vergleichsstudien an verschiedenen Spezies haben gezeigt, dass eine Vielzahl von DNA-Sequenzen deutlich höhere Ähnlichkeiten zueinander aufweisen, als es Evolutionsmodelle erwarten lassen. Diese so genannte Konserviertheit ist ein deutliches Indiz dafür, dass eine DNA-Sequenz

wichtige Information trägt, und dass die Veränderung der Sequenz durch Mutationen schädlich für den Organismus ist.

In diesem gemeinsamen Projekt mit Biologen des MPI für Ornithologie wird mit Hilfe kommunikationstheoretischer Modelle untersucht, inwiefern hoch konservierte Sequenzen eine Rolle für die zelluläre Informationsverarbeitung spielen.

Recent genome studies revealed that many DNA sequences show unexpected high similarity across species. These so-called Conserved Regions that have accumulated only few mutations are potential candidates for functional genomic units carrying important genetic information. Surprisingly, many of these regions were found in non-coding parts of the genome, i.e. DNA sequences that do not encode proteins. The function of

many of those regions is still unknown.

In this project, we analyze these regions with respect to their role in cellular information processing, using communication theoretic models and principles as known from digital technical systems. We recently presented and analyzed a new algorithm for the detection of conserved DNA regions. We also showed that certain sequences have autocorrelation properties which are optimal with respect to frame synchronization techniques. We also investigate whether these regions are involved in DNA repair serving as error correcting codes.

This interdisciplinary project at the interface of communications theory, Bioinformatics and Biology is carried out in close cooperation with our partners from the Max-Planck Institute for Ornithology.

Robust, Self-Authenticating Network Coding

Ralf Kötter

Zeitraum: 15.02.2006 – 30.11.2008
(Bericht: 01.10.2006 – 30.09.2008)

Förderung: Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Projektpartner: Prof. Muriel Medard (MIT), Prof. Michelle Effros (California Institute of Technology) u. A.

Die Erkenntnisse durch die Netzcodierung bieten neue, interessante Möglichkeiten zum theoretischen Verständnis von Netzwerken sowie deren praktischen Betrieb. Insbesondere zeigt die Netzcodierung durch die systemimmanente Robustheit gegen Angriffe von außen völlig neue Wege für Sicherheitsmaßnahmen auf. Ein entscheidender Vorteil der Netzcodierung ist dabei die verteilte Netzarchitektur – die Pakete eines einzelnen Knotens geben einem An-

greifer in gut konzipierten Systemen keinen Anhaltspunkt über die codierte Information.

Dieses gemeinsame Projekt mit dem Massachusetts Institute of Technology, dem California Institute of Technology, den Air Force Research Laboratories und dem LNT beschäftigt sich mit solchen Sicherheitsaspekten der Netzcodierung, insbesondere der Widerstandsfähigkeit gegen kompromittierte Knoten und dem Erkennen und Beheben von Netzwerkfehlern durch Netzcodierung.

The target of this project is security issues in network coding, concentrating on the areas of robustness to compromised nodes (Byzantine security), recovery and monitoring for network failures and self-authenticating network coding. The project is

a collaborative effort between the Massachusetts Institute of Technology (MIT), the California Institute of Technology (Caltech), the Air Force Research Laboratories, and our Institute (LNT) at TU München.

The discovery of network coding provides a disruptive technology pointing out new and exciting avenues for the theoretical understanding and practical operation of networks. In particular, network coding leads to radically different ways in which security issues in networks can be addressed. A key element in this investigation is the inherent robustness that network coding provides against hostile attacks due to its distributed nature. The fact that in properly network coded systems no individual piece of information is of any use to an attacker, proves to be very beneficial in a security context.

Control Based Mobile Ad-Hoc Networks (CBMANET)

Ralf Kötter und Danail Traskov

Zeitraum: 23.06.2006 – 30.06.2007
(Bericht ab 01.10.2006)

Förderung: *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*, BAE Systems Advanced Information Technologies

Projektpartner: Dr. Gregory S. Lauer, BAE Systems Inc., Burlington, MA

Ziel des Projekts CBMANET (Kontrollbasiertes Mobiles Ad-hoc Netzwerk) war die Entwicklung eines Prototypen für ein hochvolatiles mobiles Kommunikationssystem mit einer um den Faktor zehn besseren Bandbreiteneffizienz als bestehende Systeme. Aufgabe war die Unterstützung unseres Partners BAE Systems in der Konzeption der Systemarchitektur und Protokollentwicklung mit dem Schwerpunkt auf der MAC-Schicht (Medium Access Control).

Unsere Strategie, zufällige lineare Netzcodierung einzusetzen, um den Durchsatz und gleichzeitig die Robustheit des Systems zu erhöhen, erwies sich als sehr erfolgreich. Die ursprünglich anvisierten, äußerst ambitionierten Effizienzmetriken wurden nicht nur erreicht, sondern in vielen Szenarien auch überboten.

The objective of the Control-Based Mobile Ad-Hoc Networking program by DARPA was to research, design, develop and evaluate a completely novel Mobile Ad-hoc Network (MANET) prototype that improves effective performance from network stakeholder (user and operator) perspectives by an order of magnitude or more relative to the state of the art. The basis of the project was given in the opportunities that network coding offers in a wireless ad-hoc network context.

The project goals were to assist BAE Systems in meeting fairly stringent requirements in implementing a CBMANET network stack and services. In particular, the benefits of random linear network coding could be harvested and shown to be most beneficial in highly volatile networking environments. In such situation, where classical approaches to networking fail completely, the robustness of random network coding provides the edge that makes communication possible at all. Indeed, the desired gains in throughput, as set out by the research sponsor, were more than met at the end of the project period.

Information Theory for Mobile Ad-Hoc Networks (ITMANET): Fundamental Limits of Wireless Systems

Ralf Kötter

Zeitraum: 01.09.2006 – 20.04.2009
(Bericht: 01.10.2006 – 30.09.2008)

Förderung: *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*, Stanford University

Ein multiuniversitäres Forschungsprojekt unter Federführung von Prof. A. Goldsmith (Stanford University)

Das Projekt FLoWS (Fundamental Limits of Wireless Systems) ist Teil des ITMANET-Projekts, das durch die DARPA – einer Behörde des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums – für 5 Jahre gefördert wird. Ziel dieses Projektes, bei dem die Stanford University federführend ist, ist eine Neudefinition der Informationstheorie, und dabei die Struktur und die spezifischen Eigenschaften von drahtlosen Netzen miteinzube-

ziehen. Spezielles Augenmerk ist darauf gerichtet, grundlegende Ergebnisse zur Kapazität solcher Netze als auch neue und verbesserte äußere Schranken für die Kapazitätsregion herzuleiten. Dieser neuartige Ansatz, den Durchsatz von Netzen und deren Kapazitätsschranken zu bestimmen, erlaubt es uns einen Denkansatz anzustoßen, mit dem wir die Effizienz solcher Funknetze vergleichen können, ohne notwendigerweise einen absoluten Vergleichsmaßstab anzusetzen.

The FLoWS (Fundamental Limits of Wireless Systems) project is part of the 5 year DARPA program to advance Information Theory for Mobile Ad-Hoc Networks (ITMANET). Specific goals for this program are novel definitions of information theory to encompass the nature and con-

straints inherent to wireless networks.

For such formulations and broader definitions we will investigate opportunities to obtain fundamental capacity results and bounds. A special focus-area in this context is novel outer bounds. A satisfactory understanding of such outer bounds has been a long standing open problem and due to the inherent difficulty of this goal, also within this project they will only be available in a comparative sense. The novel approach to bounding the performance of networks thus leads to creating a paradigm where we can rigorously compare the performance of networks without necessarily being able to give absolute performance bounds, a situation reminiscent to the problems leading to the foundation of modern complexity theory.



Channel and Network Coding for Multihop Relaying

Georg Zeitler und Ralf Kötter

Zeitraum: 15.09.2007 – 14.09.2009
(Bericht bis 30.09.2008)

Förderung: DoCoMo Communications Lab Europe GmbH

Projektpartner: Dr. Bauch

Mobilfunksysteme der nächsten Generation erfordern eine Gebietsabdeckung mit hohen Datenraten. Um durch die Aufstellung vieler Basisstationen unverhältnismäßig hohe Kosten zu vermeiden, bietet der Einsatz von drahtlosen Relaisstationen eine kostengünstige Alternative. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden Kanal- und Netzcodierv-

fahren für drahtlose Relaisnetzwerke untersucht, wobei der Schwerpunkt auf Szenarien liegt, in denen die Relaisstation die Nachrichten der Mobilstationen nicht fehlerfrei decodieren kann. Somit bildet die Suche nach effizienten Übertragungsverfahren vom Relais zur Basisstation einen Hauptteil des Projekts.

Coverage with high data rates will be a major problem in 4G wireless communication systems due to higher attenuation at higher carrier frequencies and the use of higher-order modulation schemes requiring a higher signal-to-noise ratio for reliable detection. Consequently, the cell size will decrease significantly. To avoid a possibly prohibitively high cost by setting up a large number of base stations, one possible solution to provide sufficient coverage with reasonable cost is relayed transmission.

Here, the emphasis is on scenarios in which the use of one relay is shared among several mobile terminals, making use of ideas from network coding. Further, we do not require the relay to be able to decode the messages from the sources reliably. This extends the investigation from pure decode-and-forward operation of the relay to a more general case in which the relay needs to forward the soft information it obtained to the destination, although error-free decoding is not possible at the relay. To compensate for the drawbacks of pure analog transmission from the relay, a quantization framework was proposed for the soft values at the relay taking mutual information and the notion of relevant information as an optimization criterion.

More details can be found in the work description of Georg Zeitler in Chapter 6.

Network Coding Planning Tool (NCPTool)

Mohit Thakur und Ralf Kötter

Zeitraum: 01.10.2007 – 30.09.2008

Förderung: Siemens AG München, AbteilungCT IC 2

Projektpartner: Dr. Riedl, A. Ziller, Dr. Schwingenschlögl

In diesem einjährigen Industrieprojekt wurde ein Planungstool für drahtlose und drahtgebundene Netze erstellt, das auf dem Simulationspaket JiST (Java in Simulation Time) basiert. Ein wichtiger Aspekt war die Implementierung verschiedener Netzcodieralgorithmen (Linearkombinationen der ankommenden Pakete eines Knotens), um den kostengünstigsten Subgraphen für Multicastverbindungen zu finden.

As the name NCPTool (Network Coding Planning Tool) suggests, the

project with Siemens AG looks into fundamental practical issues with the implementation of network coding and the use of that implementation as a planning tool for wireless and wired networks. This includes implementing network coding algorithms for finding the network code and determining the minimum cost subgraph for a multicast session. Here, we only consider the single multicast session for the network coding. We implement the above mentioned algorithms in a JAVA based simulation tool called JIST, which is a discrete time event simulator.

The project has two major and important parts, the first involving the implementation of the minimum cost subgraph optimization algorithm in JIST with network coding. By network coding here, we mean the linear combination of packets in-

coming at a node from a single multicast session.

The second important part of the project is mainly focused on the extension of the first part. This would include the formulation of the network coding and optimization for the minimum cost subgraph problem in a more structural fashion. If the network demands are not satisfied in the network, then there could be a need to add another node, which would establish extra links to finally meet the original demands of the network. This needs to be done carefully as it would normally formulate into a complex problem with non closed solution strategy.

The combination of the above two mentioned parts results in the foundational ideas of the NCPTool. Finally, those two ideas will be implemented in JIST.

Robust Transmission of 100 Gbit/s Ethernet through Single-Mode Optical Fiber

Oscar Gaete und Norbert Hanik

Zeitraum: 01.10.2007-30.09.2010
(Bericht bis 30.09.2008)

Förderung: Nokia Siemens Networks GmbH & Co. KG, Abteilung Transport Technology

Projektpartner: Dr. Spinnler

Die wachsenden Kapazitätsanforderungen an WDM-Netze (*Wavelength Division Multiplex*) erfordern neue Überlegungen für das Design optischer Übertragungssysteme. In Zusammenarbeit mit Nokia Siemens Networks forschen wir auf dem Gebiet neuartiger Modulationsschemata, die eine Datenübertragung mit hoher spektraler Effizienz ermöglichen und robust gegenüber Störungen sind. Diese Arbeiten basieren auf Simulationen und auf Laborexperimenten, um die Machbarkeit unserer Lösungen zu erproben.

The growing demands of capacity in WDM networks impose interesting challenges on the design of optical transmission systems. Due to several effects arising from the interaction between light and fiber, transmission at such high data rates using the standard modulation and detection schemes becomes problematic.

In cooperation with Nokia Siemens Networks, we perform research on the area of novel modulation schemes that allow the transmission of data with high spectral efficiency and increased robustness against disturbances. The goal of this project is to visualize and compare the advantages and major problems in the implementation of several transmission schemes. This work is based on simulations performed over accurate modeling of the transmission channel and on laboratory experiments where we prove the feasibility of the

implementation of our proposed solutions. It is envisioned that in our project, we will analyze the transmission formats more likely to be implemented in the future core and metro optical networks. For example, quadrature phase shift keying, polarization multiplexing and multi-carrier modulation, are attractive alternatives that in conjunction with coherent detection may be the enabling technologies for 100 Gbit/s Ethernet transport solution. We are also looking at ways of identifying the parameters of the system, that will lead to the optimum performance of the optical link for each transmission scheme.

Algebraic Decoding of Reed-Solomon Codes beyond Half the Minimum Distance and its Applications

Joschi Brauchle und Ralf Kötter

Zeitraum: 01.11.2007 – 31.10.2009
(Bericht bis 30.09.2008)

Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (GZ: KO 3625/1-1)

Projektpartner: Prof. Martin Bossert, Institut für Telekommunikationstechnik und Angewandte Informationstheorie der Universität Ulm

Die Decodierung von Reed-Solomon-Codes über die halbe Mindestdistanz hinaus ist erstmals seit Entdeckung dieser Codes vor über 40 Jahren durch die bahnbrechende Arbeit von Sudan mit nicht-exponentieller Komplexität möglich, allerdings nur für Codes mit Rate kleiner als $1/3$.

Die Ulmer Forschungsgruppe hat kürzlich einen ähnlich leistungsfähigen syndrombasierten Ansatz vorgestellt, der im Zuge dieses gemein-

samen DFG-Projekts auf Reed-Solomon-Codes mit beliebigen Raten erweitert werden soll.

Die Münchner Forschungsgruppe dagegen beschäftigt sich mit neuesten multivariaten Interpolationsalgorithmen sowie mit deren Erweiterung durch Abbildung von Soft-Information auf so genannte Multiplizitäten.

For the first time since their invention over 40 years ago, the decoding of Reed-Solomon codes beyond half the minimum distance is possible with less than exponential complexity due to the groundbreaking work of Sudan in 1997. His list-decoding algorithm uses bivariate interpolation to improve upon the performance of bounded minimum distance decoding, although only for codes with rate less than $1/3$.

The research group of Professor Bossert in Ulm recently presented an equally powerful approach based on syndrome decoding. During the course of this project their approach shall be extended to decode Reed-Solomon codes of any rate. The group of Professor Kötter in Munich is working on the latest list-decoding algorithms based on multivariate interpolation, which decode errors up to the Singleton bound. These algorithms shall be extended to efficiently exploit soft-information provided by the channel or by concatenated inner codes. Analog to the Kötter-Vardy approach, soft-information can be used to put different weights on interpolation points in the form of multiplicities. Further goals are to reduce the required alphabet size and the computational complexity of these algorithms in general.



Network Coding for Robust Architectures in Volatile Environments (N-CRAVE)

Tobias Lutz und Ralf Kötter

Zeitraum: 01.01.2008 – 31.12.2010
(Bericht bis 30.09.2008)

Förderung: Europäische Union (Vertrag 215252)

Projektpartner: CERTH/ITI, EPFL, IT/FCUP, Telefonica, Thomson Research, CUHK

Ziel dieses Projekts ist die Verifizierung der theoretisch vorhergesagten Gewinne durch Netzcodierung in praktischen Szenarien. Dies umfasst theoretische wie praktische Aufgabenstellungen. So gilt es, die fundamentalen Grenzen der Datenübertragung in relevanten Netztopologien

zu bestimmen und komplexitätsarme Protokolle zu entwickeln, um die Ideen der Netzcodierung umsetzen und gleichzeitig in dynamisch veränderlichen Topologien einsetzen zu können. Alle entwickelten Verfahren werden schlussendlich in einem experimentellen Testumfeld validiert, mit dessen Aufbau bereits begonnen wurde.

Contemporary network paradigms based on the traditional protocol stack and associated mechanisms cannot adequately address new challenges like extremely volatile environments, advanced modes of information transport (group-to-group, unicast, multicast, multiple simultaneous sessions) or security related issues. On the other hand, the revolutionary paradigm shift brought by network coding is expected to change the way we architect, organize and control networks.

The objective of N-CRAVE is to demonstrate and verify the significant improvements of network coding in a realistic setting. The theoretical investigation focuses on performance limits for various network topologies and, further, intends to identify favorable topologies which yield optimal trade-offs between throughput performance, packet retrieval complexity and delay. Reliable protocols, which exploit inherent properties of network coding as well as fast resource allocation methods for dynamically changing topologies and traffic demands, are intended to be developed. The resulting algorithms will be evaluated both by simulation and in a real life test-bed.

A contribution obtained by us during the report period delivers a coding strategy which achieves maximum possible rates in half-duplex constrained relay networks.

Network of Excellence in Wireless Communications (NEWCOM++)

Danail Traskov und Ralf Kötter

Zeitraum: 01.01.2008 – 31.12.2011
(Bericht bis 30.09.2008)

Förderung: Europäische Union (Vertrag 216715)

Projektpartner: Netzwerk von 17 europäischen Universitäten

Dieses durch die EU geförderte Exzellenznetzwerk hat das Ziel, die europäische Forschung auf dem Gebiet der mobilen Kommunikation zu stärken, indem Mittel für Kooperation, Bündelung und Integration der Forschungsanstrengungen bereitgestellt werden. NEWCOM++ ist thematisch in einzelne Cluster gegliedert, von denen der LNT eines leitet und an drei weiteren beteiligt ist.

Despite of the fact that the European space already includes very strong re-

search groups in many of the scientific areas commonly and collectively described as wireless communications, the landscape does suffer from symptoms of thematic fragmentation, lack of coordination on a large scale, under-funding and lack of a critical mass in certain vital areas, symptoms which may prevent Europe from being the envisioned and desired leader at the international scene.

Therefore, the main manner by which NEWCOM++ intends to promote solutions to the above mentioned problems and challenges is by creating a trans-European virtual research center linking a proper number of leading research groups in a highly integrated, carefully harmonized, cooperative fashion.

Our Institute participates in the following research work packages of NEWCOM++:

- Coding for Multi-Hop Wireless Networks (project leader LNT),
- Iterative Receivers for Wireless Communications,
- Relaying and Cooperation in Networks,
- Scheduling and Adaptive Radio Resource Assignment.

In particular, our work package addresses various aspects related to coding at the network and the physical layer in multi-hop wireless networks, aiming at providing better throughput, energy efficiency and resource utilization both for unicast and multicast communications.

Since coding at the network layer requires the design of different novel channel codes, rateless codes, distributed channel coding and network coding can cooperate to provide efficient solutions to the described problem.

8

Veröffentlichungen

Patente, Vorträge

8.1 Bücher und Buchbeiträge

Breyer, F.; Hanik, N.; Lee, S.C.J.; Randel, S.: Getting the Impulse Response of SI-POF by Solving the Time-Dependent Power-Flow Equation using the Crank-Nicholson Scheme. – In: *POF Modelling – Theory, Measurement and Application*, Editor: C.A. Bunge und H. Poisel, Verlag Books on Demand GmbH, Norderstedt, Dec. 2007

Dütsch, N.: Robust Source Coding based on Forward Error Correcting Codes (FEC Source Coding). – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr.-Hut, München, July 2008

Heinen, S.; Hindelang, T.: Source Optimized Channel Codes and Source Controlled Channel Decoding. – In: *Advances in Digital Speech Processing*, Editor: R. Martin, U. Heute, R. Antweilers, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, June 2008

Jenkač, H.: Fehlerschutz für Multimedia-Broadcast im Mobilfunk. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr.-Hut, München, Aug. 2007

Mayer, T.: Cellular Base-Station Cooperation with Turbo Interference Cancellation. – In: *Buchreihe In-*

formationstechnik, Verlag Dr.-Hut, München, March 2008

Nuding, U.: Nichtlineare Informationsverarbeitung im visuellen System: Analyse, Synthese und Identifikation. – In: *Fortschritts-Berichte, Reihe 10, Informationsverarbeitung*, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Feb. 2007

Schreckenbach, F.: Iterative Decoding of Bit-Interleaved Coded Modulation. – In: *Buchreihe Informationstechnik*, Verlag Dr.-Hut, München, May 2007

Stockhammer, T.; Shokrollahi, A.; Watson, M.; Luby, M.; Gasiba, T.: Application Layer Forward Error Correction for Mobile Multimedia Broadcasting. – In: *Handbook of Mobile Broadcasting: DVB-H, DMB ISDB-T and Media FLO*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Borko Furht, Syed Ahson, March 2008

Stockhammer, T.; Zia, W.: Error Resilient Coding and Decoding Strategies for Video Communications. – In: *Multimedia over IP and Wireless Networks: Compression, Networking, and Systems*, Elsevier Academic Press, pp. 13–58, March 2007

8.1 Bücher und Buchbeiträge

8.2 Zeitschriftenbeiträge

8.3 Beiträge in Tagungsbänden

8.4 Vorträge und Präsentationen

Dieses Kapitel beinhaltet die Publikationen aller Lehrstuhlangehörigen und Lehrbeauftragten. Die Arbeiten ehemaliger Doktoranden sind ebenfalls berücksichtigt, so weit die Veröffentlichung das Promotionsthema betrifft.

Im Berichtszeitraum wurden neun Bücher bzw. Buchbeiträge verfasst (Kap. 8.1), dazu 35 Zeitschriftenbeiträge (Kap. 8.2) und 70 Aufsätze in Tagungsbänden (Kap. 8.3). Das Kap. 8.4 beinhaltet die 58 öffentlichen Vorträge von Lehrstuhlangehörigen.

8.2 Zeitschriftenbeiträge

- Bauch, G.; Schreckenbach, F.; Hausl, C.; Abe, T.: Turbo Modulation and Coding: Design and Evaluation of Iterative Bit-Interleaved Coded Modulation Methods for Wireless Systems beyond 3G. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Wiley & Sons Ltd., InterScience, Vol. 18, No. 8, ISSN 1124-318X, pp. 845–850, Dec. 2007
- Breyer, F.; Mörz, M.; Hanik, N.; Li, L.; Randel, S.; Spinnler, B.: Analysis of Electronic Dispersion Compensation for Step-Index Polymer Optical Fiber by Use of an Advanced Simulation Model. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Wiley & Sons Ltd., InterScience, Vol. 18, No. 8, ISSN 1124-318X, pp. 881–886, Dec. 2007
- David, P.; Shepherd, D.P.; Braennstroem, F.; Schreckenbach, F.; Shi, Z.; Reed, M.C.: Adaptive Optimization of an Iterative Multiuser Detector for Turbo-coded CDMA. – In: *IEEE Transactions on Wireless Communications*, July 2007
- Dawy, Z.; Hanus, P.; Weindl, J.; Dingel, J.; Morcos, F.: On Genomic Coding Theory. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Wiley & Sons Ltd., InterScience, Vol. 18, No. 8, ISSN 1124-318X, pp. 873–879, Dec. 2007
- Dawy, Z.; Sarkis, M.; Hagenauer, J.; Müller, J.C.: Fine-Scale Genetic Mapping Using Independent Component Analysis. – In: *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, Vol. 5, No. 3, July 2008
- Desmond, S.; Luna, L.; Medard, M.; Kötter, R.; Effros, M.: On Coding for Reliable Communication over Packet Networks. – In: *Physical Communication*, Volume 1, Issue 1, Elsevier, pp. 3–20, March 2008
- Dingel, J.; Hanus, P.; Leonardi, N.; Hagenauer, J.; Zech, J.; Müller, J.C.: Local Conservation Scores without Assumptions on Neutral Substitution Rates. – In: *BMC Bioinformatics*, April 2008
- Dütsch, N.: Turbo-Coding-2006: 4th International Symposium on Turbo Codes & Related Topics and 6th International ITG-Conference on Source and Channel Coding. – In: *Nachrichtentechnische Zeitung (ntz)*, Heft 7-No. 8, VDE Verlag, Nov. 2006
- Effros, M.; Kötter, R.; Medard, M.: Rethinking the Information Superhighway. – In: *Scientific American*, July 2007
- Effros, M.; Kötter, R.; Medard, M.: Staufrei fahren auf der Datenautobahn. – In: *Spektrum der Wissenschaft*, pp. 88–95, Feb. 2008
- Gasiba, T.; Stockhammer, T.; Xu, W.: Enhanced System Design for Download and Streaming Services using Raptor Codes. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Feb. 2008
- Hagenauer, J.; Kuhn, C.: The List-Sequential (LISS) Algorithm and its Application. – In: *IEEE Transactions on Communications*, May 2007
- Hanus, P.; Göbel, B.; Dingel, J.; Weindl, J.; Zech, J.; Dawy, Z.; Hagenauer, J.; Müller, J.C.: Information and Communication Theory in Molecular Biology. – In: *Electrical Engineering (Archiv für Elektrotechnik)*, Vol. 90, No. 2, Springer, pp. 161–173, Dec. 2007
- Hausl, C.; Chindapol, A.: Hybrid ARQ with Cross-Packet Channel Coding. – In: *IEEE Communications Letters*, Vol. 11, Issue 5, pp. 434–436, May 2007
- Hausl, C.; Hagenauer, J.: Relay Communication with Hierarchical Modulation. – In: *IEEE Communications Letters*, Vol. 11, Issue 1, pp. 64–66, Jan. 2007
- Hindelang, T.; Adrat, M.; Fingscheidt, T.; Heinen, S.: Joint Source and Channel Coding: From the Beginning until the EXIT. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Wiley & Sons Ltd., InterScience, Vol. 18, No. 8, ISSN 1124-318X, pp. 851–858, Dec. 2007
- Ho, T.; Leong, B.; Kötter, R.; Medard, M.; Effros, M.; Karger, D.R.: Byzantine Modification Detection in Multicast Networks with Random Network Coding. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume 54, Issue 6, Digital Object Identifier 10.1109/TIT.2008.921894, pp. 2798–2803, June 2008
- Kötter, R.; Kschischang, F.R.: Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume 54, Issue 8, Digital Object Identifier 10.1109/TIT.2008.926449, pp. 3579–3591, Aug. 2008
- Kötter, R.; Li, W.C.; Vontobel, P.O.; Walker, J.L.: Characterizations of Pseudo-Codewords of (Low-Density) Parity Check Codes. – In: *Advances in Mathematics*, Elsevier: 14-DEC-2006 DOI information: 10.1016/j.aim.2006.12.010, Dec. 2006
- Kuryshev, V.Y.: Genome Information Integration Project and H-Invitational 2. The H-Invitational Database (H-InvDB), a Comprehensive Annotation Resource for Human Genes and Transcripts. – In: *Nucleic Acids Res.*, pp. 793–799, Jan. 2008
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: High-Speed Transmission over Multimode Fiber using Discrete Multitone Modulation. – In: *Journal of Optical Networking*, Vol. 7, Issue 2, pp. 183–196, Feb. 2008

Luby, M.; Gasiba, T.; Stockhammer, T.; Watson, M.: Reliable Multimedia Download Delivery in Cellular Broadcast Networks. – In: *IEEE Transactions on Broadcasting*, Volume 53, Issue 1, pp. 235–246, March 2007

Moulin, P.; Kötter, R.: Data Hiding – Theory and Algorithm. – In: *IMS Lecture Notes Series*, Vol. 11: Mathematics and Computation, Nov. 2007

Sarkis, M.; Göbel, B.; Dawy, Z.; Hagenauer, J.; Hanus, P.; Müller, J.C.: Gene Mapping of Complex Diseases – a Comparison of Methods from Statistics, Information Theory and Signal Processing. – In: *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 24, Issue 1, pp. 83–90, Jan. 2007

Schierl, T.; Stockhammer, T.; Wiegand, T.: Mobile Video Transmission using Scalable Video Coding (SVC). – In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 17, pp. 1204–1217, June 2007

Schuster, M.; Randel, S.; Bunge, C.A.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Spinnler, B.; Petermann, K.: Spectrally Efficient Compatible Single-Sideband Modulation for OFDM Transmission with Direct Detection. – In: *Photonics Technology Letters (PTL)*, IEEE, Vol. 20, Issue 9, pp. 670–672, May 2008

Shepherd, D. P.; Braennstroem, F.; Schreckenbach, F.; Shi, Z.; Reed, M.C.: Adaptive Optimization of an Iterative Multiuser Detector for Turbo-Coded CDMA. – In: *IEEE Transactions on Wireless Comm.*, June 2007

Silva, D.; Kschischang, F.R.; Kötter, R.: A Rank-Metric Approach to Error Control in Random Network Coding. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume 54, Issue 9, Digital Object Identifier 10.1109/TIT.2008.928291, pp. 3951–3967, Sept. 2008

Stockhammer, T.; Gasiba, T.; Abdel Samad, W.; Schierl, T.; Jenkač, H.; Wiegand, T.; Xu, W.: Nested Harmonic Broadcasting for Scalable Video over Mobile Datacast Channels. – In: *Wireless Communications and Mobile Computing, Special Issue on Video Communications for 4G Wireless Systems*, Vol. 7, Issue 2, pp. 235–256, Feb. 2007

Stockhammer, T.; Liebl, G.; Kaiser, S.; Jenkač, H.; Ruf, M.: Mobile TV – “Daumenkino” gets reality. – In: *European Transactions on Telecommunications (ETT)*, Wiley & Sons Ltd., InterScience, Vol. 18, No. 8, ISSN 1124-318X, DOI: 10.1002/ett.1202, pp. 865–872, Dec. 2007

Stockhammer, T.; Luby, M.; Watson, M.: Application Layer FEC in IPTV Services. – In: *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 5, pp. 94–101, May 2008

Tang, X.; Kötter, R.: A Novel Method for Combining Algebraic Decoding and Iterative Processing. – In: *IEEE Transactions on Communications*, Aug. 2007

Vontobel, P.O.; Kötter, R.: Graph-Cover Decoding and Finite-Length Analysis of Message-Passing Iterative Decoding of LDPC Codes. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Aug. 2007

Weindl, J.; Hanus, P.; Dawy, Z.; Zech, J.; Hagenauer, J.; Müller, J.C.: Modeling DNA-Binding of *Escherichia Coli* Sigma70 Exhibits a Characteristic Energy Landscape Around Strong Promoters. – In: *Nucleic Acids Research*, Vol. 35, No. 20, Oxford Journals, pp. 7003–7010, Nov. 2007

Yibo, J.; Ashikhmin, A.; Kötter, R.; Singer, A.C.: Extremal Problems of Information Combining. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Issue 1, Volume 54, Digital Object Identifier 10.1109/TIT.2007.911266, pp. 51–71, Jan. 2008

8.3 Beiträge in Tagungsbänden

Agarwal, R.; Kötter, R.; Popovici, E.: A Low Complexity Algorithm and Architecture for Systematic Encoding of Hermitian Codes. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007)*, Nice, France, June 2007

Bakshi, M.; Effros, M.; Gu, W.; Kötter, R.: On Network Coding of Independent and Dependent Sources in Line Networks. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Infor-*

mation Theory (ISIT 2007), Nice, France, June 2007

Breyer, F.; Hanik, N.; Randel, S.; Spinnler, B.: Investigations on Electronic Equalization for Step-Index Polymer Optical Fiber Systems. – In: *Proc. 11th Annual Symposium of the IEEE/Leos Benelux Chapter*, Eindhoven, The Netherlands, Dec. 2006

Breyer, F.; Lee, S.C.J.; Randel, S.; Hanik, N.: PAM-4 Signalling for

Gigabit Transmission over Standard Step-Index Plastic Optical Fiber using Light Emitting Diodes. – In: *Proc. 34th European Conf. on Optical Communications (ECOC 2008)*, Brussels, Belgium, Sept. 2008

Breyer, F.; Lee, S.C.J.; Randel, S.; Hanik, N.: 500-Mbit/s Transmission over 50 m Standard 1-mm Step-Index Polymer Optical Fiber using PAM4-Modulation and Simple Equalisation Schemes. – In: *Proc.*

Ephotone One Summer School 2007, Brest, France, July 2007

Breyer, F.; Lee, S.C.J.; Randel, S.; Hanik, N.: 1.25 Gbit/s Transmission over up to 100 m Standard 1 mm Step-Index Polymer Optical Fiber using FFE or DFE Equalisation Schemes. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007)*, Berlin, Sept. 2007

Breyer, F.; Lee, S.C.J.; Randel, S.; Hanik, N.: 10 Gbit/s Transmission over 220 m Perfluorinated Graded-Index Polymer Optical Fiber using PAM-4 Modulation and Simple Equalization Schemes. – In: *Proc. 16th International Conference on Plastic Optical Fibers 2007 (POF2007)*, Turin, Italy, Sept. 2007

Breyer, F.; Lee, S.C.J.; Randel, S.; Hanik, N.: Comparison of OOK- and PAM-4 Modulation for 10 Gbit/s Transmission over up to 300 m Polymer Optical Fiber. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC) 2008*, San Diego, CA, USA, Feb. 2008

Coelho, L.D.; Molle, L.; Gross, D.; Hanik, N.; Freund, R.; Caspar, C.; Schmidt, E.-D.: Numerical and Experimental Investigation of the Effect of Dispersion on Nonlinear Phase Noise in RZ-DPSK Systems. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007)*, Berlin, Sept. 2007

Dingel, J.; Hagenauer, J.: Parameter Estimation of a Convolutional Encoder from Noisy Observations. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory, Acropolis Congress and Exhibition Center, Nice, France, June 2007*

Dingel, J.; Milenkovic, O.: Coding Theoretic Methods for Reverse Engineering of Gene Regulatory Networks. – In: *Proc. IEEE Information Theory Workshop (invited paper)*, Porto, Portugal, May 2008

Dingel, J.; Milenkovic, O.: Decoding the Dynamics of Gene Regulatory Networks under an Algebraic Expression Model. – In: *Proc. 5th International Workshop on Computational Systems Biology (WCSB08)*, Leipzig, June 2008

Dingel, J.; Milenkovic, O.: A List-Decoding Approach for Inferring the Dynamics of Gene Regulatory Networks. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2008)*, Toronto, Canada, July 2008

Dingel, J.; Singh, N.; Milenkovic, O.: Inferring Algebraic Gene Networks using Local Decoding. – In: *Proc. IEEE International Conf. on Bioinformatics and Biomedicine Workshop on Systems Biology and Medicine*, Philadelphia, USA, Sept. 2008

Gaete, O.; Coelho, L.D.; Spinnler, B.; Schmidt, E.-D.; Hanik, N.: Global Optimization of Optical Communication Systems. – In: *Proc. 34th European Conference on Optical Communications (ECOC 2008)*, Brussels, Belgium, Sept. 2008

Gaudino, R.; Bosco, G.; Bluschke, A.; Hofmann, O.; Kiss, N.; Matthews, M.; Rietzsch, P.; Randel, S.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.: On the Ultimate Capacity of SI-POF Links and the Use of OFDM: Recent Results from the POF-ALL Project. – In: *Proc. 16th International Conference on Plastic Optical Fibers 2007 (POF2007)*, Turin, Italy, Sept. 2007

Göbel, B.; Fesl, B.; Coelho, L.D.; Hanik, N.: On the Effect of FWM in Coherent Optical OFDM Systems. – In: *Proc. Optical Fiber Communication Conference (OFC 2008)*, San Diego, CA, USA, Feb. 2008

Göbel, B.; Kuschnerov, M.; Hanik, N.: On the Effect of Polarisation-

Mode Dispersion on the Channel Capacity of Coherent Fiber-Optic Communication Systems. – In: *Proc. 9th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2007)*, Rome, Italy, July 2007

Grubor, J.; Gaete, O.; Walewski, J.W.; Randel, S.; Langer, K.-D.: High-Speed Wireless Indoor Communication via Visible Light. – In: *Proc. ITG-Fachkonferenz: Breitbandversorgung in Deutschland – Vielfalt für alle?*, TU Berlin, March 2007

Gu, W.; Kötter, R.; Effros, M.; Ho, T.: On Source Coding with Coded Side Information for a Binary Source with Binary Side Information. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007)*, Nice, France, June 2007

Han, K.; Ho, T.; Kötter, R.; Medard, M.; Zhao, F.: On Network Coding for Security. – In: *Proc. Military Communications Conf. (MILCOM 2007)*, IEEE, pp. 1–6, Piscataway, NJ, USA, Oct. 2007

Hanus, P.: Synchronization Properties of Protein Binding Sites. – In: *Proc. 15th Annual International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB 2007)*, Vienna, Austria, July 2007

Hanus, P.; Dingel, J.; Zech, J.; Hagenauer, J.; Müller, J.C.: Information Theoretic Distance Measurers in Phylogenomics. – In: *Proc. International Workshop on Information Theory and Applications (ITA)*, San Diego, CA, USA, Jan. 2007

Hellerbrand, S.: Compensation of Fiber Intrachannel Nonlinearity by Electronic Predistortion – Comparison of Modulation Formats. – In: *Proc. ITG Workshop on Modelling and Simulation of Optical Communication Systems*, München, Feb. 2007

Hellerbrand, S.; Hanik, N.: Polarization-Diversity Turbo-Equalization of Polarization Mode Dispersion. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007)*, Berlin, Sept. 2007

- Hellerbrand, S.; Hanik, N.: Electronic Mitigation of Polarization-Mode Dispersion using Polarization Diversity and Iterative Equalization. – In: *Proc. 2nd Sino-German Symp. on Optical Communication Networks (SOCN) 2007, Berlin*, Sept. 2007
- Hellerbrand, S.; Hanik, N.: Techniques for Electronic Mitigation of Transmission Impairments in Fiber-Optic Communication Systems. – In: *Proc. International Conf. on Transparent Optical Networks (ICTON 2008), Athens, Greece*, June 2008
- Hellerbrand, S.; Weber, C.; Hanik, N.; Petermann, K.: Advanced Modulation Formats for Electronic Pre-distortion of Intrachannel Non-linearities at 40 Gbit/s. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007), Berlin*, Sept. 2007
- Hou, J.; Hausl, C.; Kötter, R.: Distributed Turbo Coding Schemes for Asymmetric Two-Way Relay Communication. – In: *Proc. International Symposium on Turbo Codes & Related Topics, Lausanne, Switzerland*, Sept. 2008
- Kötter, R.: Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding. In: *Proc. 2007 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007), Nice, France*, June 2007
- Kötter, R.: Network Coding over Noisy Channels, a Belief Propagation Approach. In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007), Nice, France*, June 2007
- Kötter, R.; Kschischang, F.: Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding. – In: *Proc. 2007 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT2007), Nice, France*, June 2007
- Kuryshv, V.Y.; Hanus, P.: Compression Based Classification of Primate Endogenous Retrovirus Sequences. – In: *Proc. 5th International Workshop on Computational Systems Biology (WCSB 2008)*, pp. 81–84, *Leipzig*, June 2008
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; van den Boom, H.; Koonen, A.M.: Gigabit Ethernet Transmission over Standard Step-Index Polymer Optical Fiber. – In: *Proc. 17th International Conference on Polymer Optical Fiber (ICPOF 2008), Santa Clara, CA, USA*, Aug. 2008
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Schuster, M.; Zeng, J.; Huijskens, F.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.; Hanik, N.: 24 Gbit/s Transmission over 730 m of Multimode Fiber by Direct Modulation of an 850 nm VCSEL using Discrete Multi-Tone Modulation. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC) 2007, Anaheim, USA*, March 2007
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Spinnler, B.; Lobato Polo, I.L.; van den Borne, D.; Zeng, J.; de Man, E.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Performance of Maximum Likelihood Sequence Estimation in 10 Gbit/s Transmission Systems with Polymer Optical Fiber. – In: *Proc. 11th Annual Symposium of the IEEE/Leos Benelux Chapter, Eindhoven, The Netherlands*, Dec. 2006
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Spinnler, B.; Lobato Polo, I.L.; van den Borne, D.; Zeng, J.; de Man, E.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: 10.7 Gbit/s Transmission over 220 m Polymer Optical Fiber using Maximum Likelihood Sequence Estimation. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC) 2007, Anaheim, CA, USA*, March 2007
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Low-Cost 10 Gbit/s Transmission Systems with Multimode Fiber using Discrete Multitone Modulation. – In: *Proc. Ephotone One Summer School 2007, Brest, France*, July 2007
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Orthogonal Frequency Division Multiplexing over Multimode Optical Fibers. – In: *Proc. 12th Annual Symposium of the IEEE/Leos Benelux Chapter, Bruxelles, Belgium*, Dec. 2007
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Zeng, J.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Discrete Multi-Tone Modulation for Low-Cost and Robust 10 Gbit/s Transmission over Polymer Optical Fiber. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007), Berlin*, Sept. 2007
- Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Ziemann, O.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Low-Cost and Robust 1 Gbit/s Plastic Optical Fiber Link Based on Light-Emitting Diode Technology. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC) 2008, San Diego, CA, USA*, Feb. 2008
- Lee, S.C.J.; Walewski, J.W.; Randel, S.; Breyer, F.; van den Boom, H.P.A.; Koonen, A.M.: Discrete Multi Tone for Novel Application Areas of Optical Communications. – In: *Proc. IEEE/LEOS Summer Topicals 2008, Acapulco, Mexico*, July 2008
- Lutz, T.; Hausl, C.; Kötter, R.: Coding Strategies for Noise-Free Relay Cascades with Half-Duplex Constraint. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2008), Toronto, Canada*, July 2008
- Mayer, T.: System Level Aspects for Receiver Cooperation versus Hybrid ARQ. – In: *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom 2006), San Francisco, CA, USA*, Nov. 2006
- Mayer, T.; Kuhn, C.: Distributed Turbo Equalization for Intercell and In-

tersymbol Interference Cancellation. – In: *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GlobeCom 2006)*, San Francisco, CA, USA, Nov. 2006

Randel, S.; Breyer, F.; Lee, S.C.J.: High-Speed Transmission over Multimode Optical Fibers. – In: *Proc. Optical Fiber Conference (OFC) 2008*, (invited paper), San Diego, CA, USA, Feb. 2008

Randel, S.; Koonen, T.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Larrode, M.G.; Yang, J.; Ngoma, A.; Rijckenberg, G.; van den Boom, H.: Advance Modulation Techniques for Polymer Optical Fiber Transmission. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007)*, POF Symposium (invited paper), Berlin, Sept. 2007

Randel, S.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.: 1 Gbit/s Transmission over POF using Light-Emitting Diodes. – In: *Proc. 16th International Conference on Plastic Optical Fibers 2007 (POF2007)*, Turin, Italy, Sept. 2007

Randel, S.; Schuster, M.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.: Myths and Truths about Optical OFDM. – In: *Proc. IEEE LEOS Summer Topicals 2007* (invited paper), Portland, USA, July 2007

Randel, S.; Walewski, J.; Rohde, H.; Spinnler, B.; Breyer, F.; Lee, S.C.J.: In-Building Gigabit Networks based on 1mm PMMA Step-Index Polymer Optical Fibers. – In: *Proc. ITG-Fachkonferenz: Breitbandversorgung in Deutschland – Vielfalt für alle?*, Berlin, March 2007

Sadasivam, S.; Moulin, P.; Kötter, R.: Graphical Models for Desynchroni-

zation-Resilient Watermark Decoding. – In: *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2007)*, San Antonio, TX, USA, Sept. 2007

Schierl, T.; Johansen, S.; Helge, C.; Wiegand, T.; Stockhammer, T.: Distributed Rate-Distortion Optimization for Rateless Channel Coded Scalable Video in Mobile Ad Hoc Networks. – In: *Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2007)*, San Antonio, TX, USA, Sept. 2007

Schuster, M.; Spinnler, B.; Bunge, C.A.; Randel, S.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.: Realisierungsmöglichkeiten für OFDM in der optischen Weitverkehrstechnik. – In: *Proc. 8. ITG-Fachtagung Photonische Netze*, Leipzig, May 2007

Silva, D.; Kschischang, F.R.; Kötter, R.: A Rank-Metric Approach to Error Control in Random Network Coding. – In: *Proc. Information Theory for Wireless Networks, 2007 IEEE Information Theory Workshop*, pp. 1–5, Solstrand, Norway, July 2007

Söder, G.; Eichin, K.: LNTwww – ein Lerntutorial für die Nachrichtentechnik im world wide web. – In: *Tageungsband des 7. Weiterbildungsseminar für Lehrer an Beruflichen Schulen*, TU München, Nov. 2006

Stockhammer, T.; Liebl, G.: On Practical Crosslayer Aspects in 3GPP Video Services. – In: *Proc. ACM Multimedia 2007, International Workshop on Mobile Video, MV 2007*, Augsburg, Oct. 2007

Stockhammer, T.; Watson, M.; Luby, M.: DVB Application Layer FEC in IPTV Services. – In: *Proc. SMPTE & VSF 2008 Joint Conference*, Houston, TX, USA, Feb. 2008

Stockhammer, T.; Watson, M.; Luby, M.; Gasiba, T.: High-Quality Video Distribution using Power Line Communication and Application Layer Forward Error Correction. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Power Line Communications*

and its Applications, (ISPLC 2007), Pisa, Italy, March 2007

Sundararajan, J.K.; Medard, M.; Minji, K.; Eryilmaz, A.; Shah, D.; Kötter, R.: Network Coding in a Multicast Switch. – In: *Proc. 26th IEEE International Conference on Computer Communications, (INFOCOM 2007) IEEE*, pp. 1145–1153, Anchorage, Alaska, USA, May 2007

Traskov, D.; Lun, D.; Kötter, R.; Medard, M.: Network Coding in Wireless Networks with Random Access. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007)*, Nice, France, June 2007

Varga, I.; Stockhammer, T.: Enrichment of Speech Calls by Live Video. – In: *Proc. Sarnoff Symposium*, Princeton, NJ, USA, April 2007

Weindl, J.; Hagenauer, J.: Applying Techniques from Frame Synchronization for Biological Sequence Analysis. – In: *Proc. International Conference on Communications (ICC) 2007*, pp. 833–838, Glasgow, Scotland, June 2007

Xiangyu, T.; Kötter, R.: Performance of Iterative Algebraic Decoding of Codes Defined on Graphs: An Initial Investigation. – In: *Proc. IEEE Information Theory Workshop (ITW 2007)*, pp. 254–259, Lake Tahoe, CA, USA, Sept. 2007

Yang, S.; Kötter, R.: Network Coding over a Noisy Relay: A Belief Propagation Approach. – In: *Proc. IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2007)*, Nice, France, June 2007

Younus, A.; Abdel-Samad, W.; Stockhammer, T.; Zia, W.: Comparison of Mobility Scenarios for Delivery of Dynamic Interactive Multimedia Scenes in Mobile Broadcast Environments. – In: *Proc. 2007 Int. Conf. on Wireless Networks*, Las Vegas, NV, USA, June 2007

Younus, A.; Abdel-Samad, W.; Stockhammer, T.; Zia, W.; Xu, W.: Dynamic Interactive Multimedia

Scenes in Mobile Broadcast Environments. – In: *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), Glasgow, UK, June 2007*

Zeitler, G., Kötter, R., Bauch, G., Widmer, J.: Design of Network Coding Functions in Multihop Relay Networks. – In: *Proc. 5th International Symposium on Turbo Codes & Related Topics, Lausanne, Switzerland, Sept. 2008*

Zeng, J.; Lee, S.C.J.; Breyer, F.; Randel, S.; Yang, J.; van den Boom, H.P.; Koonen, A.M.: Transmission of

1.25 Gbit/s per Channel over 4.4 km Silica Multimode Fiber Using QAM Subcarrier Multiplexing. – In: *Proc. 33rd European Conference on Optical Communications (ECOC 2007), Berlin, Sept. 2007*

Zia, W.; Afzal, T.; Stockhammer, T.; Liebl, G.; Xu, W.: Interactive Error Control for Mobile Video Telephony. – In: *Proc. IEEE International Conf. on Communications (ICC 2007), Glasgow, UK, June 2007*

Zia, W.; Diepold, K.; Stockhammer, T.: Complexity Constrained Robust

Video Transmission for Hand-Held Devices. – In: *Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2007), San Antonio, TX, USA, Sept. 2007*



8.4 Vorträge und Präsentationen

Breyer, F.: Investigations in Polymer Optical Fibers (POF) at LNT and CT. Joint Workshop on Optical Communications at ENST Bretagne, France, 04.10.2006

Breyer, F.: Increasing the Capacity of POF Transmission Systems. Workshop on Optical Communication Systems, Albrechts-Universität Kiel, 09.02.2007

Breyer, F.; Hanik, N.; Lee, S.C.J.; Randel, S.: Getting the Impulse Response of SI-POF by Solving the Time-Dependent Power-Flow Equation using the Crank-Nicholson Scheme. POF Modelling 2007, Nürnberg, 27.06.2007

Coelho, L.D.: Bit-Error-Rate Analysis using Eigenfunction Expansion and Saddlepoint Integration Methods. Universität der Bundeswehr, München, 31.10.2006

Coelho, L.D.: BER Evaluation of Single-Channel DPSK Systems with Nonlinear Phase Noise. Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, TU München, 29.11.2006

Coelho, L.D.: Effect of Dispersion on Nonlinear Phase Noise in RZ-DPSK Systems. EIBONE-Projektworkshop des Arbeitskreises Übertragungstechnik, Nürnberg, 16.04.2007

Coelho, L.D.: Optimization of High Data Rate Optical Communication Systems using Advanced Multilevel Modulation Schemes. EIBONE Statusmeeting, TU München, 19.06.2007

Dingel, J.: Estimation of Convolutional Encoders from Noisy Observations. Kommunikations- und Informationstheorie in der Genetik (ComInGen Group) Meeting, TU München, 10.12.2006

Dingel, J.: KuLCons - Local Conservation Scores without Assumptions on Neutral Substitution Rates. Präsentation der Arbeitsgruppe Kommunikations- und Informationstheorie in der Genetik (ComInGen), TU München, 21.01.2008

Dingel, J.: Coding Theoretic Approaches to Reverse Engineering of Gene Regulatory Networks. Seminar der Arbeitsgruppe Kommunikations- und Informationstheorie in der Genetik (ComInGen), TU München, 09.04.2008

Gaete, O.: Global Optimization of Optical Communication Systems. Workshop on Optical Communication Systems, DTU Kopenhagen, Dänemark, 11.04.2008

Gaete, O.: Global Optimization of Optical Communication Systems.

ITG-FG 5.3.1 Workshop, Albrechts-Universität Kiel, 12.06.2008

Göbel, B.: Information Theoretic Limits to Fiber-Optical Communication Channels. Universität der Bundeswehr, München, 31.10.2006

Göbel, B.: The Effect of PMD on the Channel Capacity of Optical Communication Systems with Coherent Receivers. Workshop on Optical Communication Systems, Albrechts-Universität Kiel, 09.02.2007

Göbel, B.: Einfluss der Vierwellenmischung in CO-OFDM-Systemen. Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1, Stuttgart, 16.11.2007

Hagenauer, J.: Information Theory and Genetics. University of Edinburgh, UK, 11.10.2006

Hagenauer, J.: Relays and Base Station Cooperation in Cellular Systems – Research meets Industry. Vodafone, Berlin, 17.10.2006

Hagenauer, J.: Küpfmüller-Gedächtnis-Vorlesung: Informationstheorie angewandt auf den genetischen Code. TU Darmstadt, 31.10.2006

Hagenauer, J.: Information Theory and Mobile Communications. Royal

Academy Vodafone Lecture, Royal Society London, UK, 27.11.2006

Hagenauer, J.: Informationstheorie angewandt auf den genetischen Code. Treffen der DLR-Institutsleiter, Meiling, 23.02.2007

Hagenauer, J.: Two Founding Fathers of Digital Communications (and OFDM). Dinner Speech MC-CDMA Workshop, Herrsching, 08.05.2007

Hagenauer, J.: Anwendungen der Informationstheorie in Genbiologie und Texterkennung. Abschiedskolloquium Professor Finger, TU Dresden, 21.05.2007

Hagenauer, J.: Communication Theory in Mobile Systems and Genetics. Gastvorlesung an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Österreich, 01.06.2007

Hagenauer, J.: Coding and Communications. Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Österreich, 01.06.2007

Hagenauer, J.: Informationstheorie und Genetik. Fakultätsseminar, Alpen-Adria Universität Klagenfurt, Österreich, 05.06.2007

Hagenauer, J.: Faltungscodes und Turbodecodierung. Kurs Carl-Cranz-Gesellschaft, Oberpfaffenhofen, 12.06.2007

Hagenauer, J.: Informationstheorie und genetischer Code. Kolloquium Studentenverbindung Albertia, München, 03.07.2007

Hagenauer, J.: Partial Response and Faster than Nyquist Signalling. Colloquium Universität Lund, Schweden, 24.09.2007

Hagenauer, J.: Communication Theory applied to Genetics. Seminar JCCC, Schloss Dürnstein, Österreich, 16.10.2007

Hagenauer, J.: Relay and Base Station Cooperation in Cellular Systems. World Wireless Research Forum, Chennai, India, 06.11.2007

Hagenauer, J.: Kommunikation im digitalen Zeitalter: Vergangenheit und Zukunft. 125 Jahre TU Darmstadt, 16.11.2007

Hagenauer, J.: Gains with Relays and Base Station Cooperation in Cellular Systems. EU Consulting, Brussels, Belgium, 06.02.2008

Hagenauer, J.: Gab es Sprachübertragung im Mobilfunk vor Peter Vary?. 60. Geburtstag Prof. Peter Vary, RWTH Aachen, 08.02.2008

Hagenauer, J.: Relays and Base Station Cooperation in Cellular Systems. Advisory Board Meeting DOCOMO, München, 10.04.2008

Hagenauer, J.: Drei Ingenieurwissenschaftler im Dritten Reich. DLR, Alumni Treffen, Meiling, 31.05.2008

Hagenauer, J.: Evolutionary Conservation in DNA Sequences – An Engineer's View. Promotionskolleg, Universität Ulm, 26.06.2008

Hanus, P.: Gewinnung internationaler Studierender für den MSCE-Studiengang. GATE Seminarreihe vom DAAD, Bonn, 19.05.2008

Hausl, C.: Joint Network-Channel Coding for the Multiple-Access Relay Channel. Newcom, WPR.5 Meeting, TU München, 25.02.2008

Hellerbrand, S.: Activities at LNT regarding Compensation of Fiber-Optic Transmission Impairments. Joint Workshop on Optical Communications at ENST Bretagne, France, 04.10.2006

Hellerbrand, S.: Predistortion for Compensation of Fiber Transmis-

sion Impairments. Lehrstuhl für Nachrichtentechnik, TU München, 07.12.2006

Hellerbrand, S.: Compensation of Fiber Intrachannel Nonlinearity by Electronic Predistortion – Comparison of Modulation Formats. Workshop on Optical Communications, Christian-Albrechts-Universität Kiel, 09.02.2007

Hellerbrand, S.: An Introduction to Multicanonical Monte-Carlo Simulation. EIBONE-Projektworkshop des Arbeitskreises Übertragungstechnik, TU Darmstadt, 12.02.2008

Hellerbrand, S.; Al Kanj, L.; Hanik, N.: Electronic Signal Predistortion for Compensation of Polarization Mode Dispersion in Optical Fibers. EIBONE-Projektworkshop des Arbeitskreises Übertragungstechnik, TU München, 31.05.2007

Hellerbrand S.; Hanik N.: Effectiveness of Taylor-Series Expansion based PMD Compensators. EIBONE-Projektworkshop des Arbeitskreises Übertragungstechnik, TU München, 31.05.2007

Kötter, R.: Network Coding and Error Correction. Workshop Peer to Peer, Paris, France, 19.03.2007

Kötter, R.: Network Coding and Resource Allocation in Networks. ITG-Fachgruppensitzung: Angewandte Informationstheorie, Berlin, 13.04.2007

Kötter, R.: Some More Network Coding: The Optimization Story. DLR Kolloquium, Oberpfaffenhofen, 18.04.2007

Kötter, R.: Random Network Coding for Errors and Erasures. Workshop on Algorithms, Inference and Statistical Physics, Santa Fe, New Mexico, USA, 02.05.2007

Kötter, R.: Half-Duplex Relay Networks, Network Coding and (a Little Bit of) OFDM. 6th International Workshop on Multi-Carrier Spread

Spectrum (invited plenary speech), Herrsching, 08.05.2007

Kötter, R.: An Introduction to Network Coding. Universität Bremen, Dept. of Telecommunications, 17.05.2007

Kötter, R.: Error Correction in Network Coded Systems. IEEE Communication Theory Workshop, Sedona, AZ, USA, 21.05.2007

Kötter, R.: Network Coding – A Guided Tour. IC 2 Kolloquium, Siemens, München, 31.05.2007

Kötter, R.: New Paradigms for Upper Bounds. ITMANET Principal Investigator (PI) Meeting, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA, 26.07.2007

Lutz, T.: Coding Strategies for Noise-Free Relay Cascades with Half-Du-

plex Constraint. N-Crave, FP7 Meeting, TU München, 25.07.2008

Söder, G.; Eichin, K.: Demonstration des internetbasierten Lerntutorials LNTwww. TU München, 07.11.2007

Weindl, J.: On the Synchronization Properties of E. Coli Promoter Sequences. Präsentation der Arbeitsgruppe Kommunikations- und Informationstheorie in der Genetik (Com InGen), TU München, 21.01.2007

Zeitler, G.: Network Coding for Multihop Relaying. DoCoMo Communications Laboratories Europe GmbH, München, 12.10.2007

Zeitler, G.: Network Coding for Multihop Relaying: A Summary of First Results. DoCoMo Communications Laboratories Europe GmbH, München, 19.02.2008



9.1 Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1: 100 Gbit/s-Ethernet, 12. und 13. Februar 2007

Norbert Hanik und Stephan Hellerbrand

In 2007, the bi-annual workshop of the ITG experts group on modeling of photonic components and sub-systems was hosted at TUM. Experts from universities as well as the industry gathered in LNT's seminar room to present the latest results on the subject "Technologies for 100 Gbit/s Ethernet".

After a general introduction into *Carrier Grade Ethernet Networking* the focus of the presentations shifted towards components in high-speed networks. Since the choice of the modulation format is a crucial aspect in fiber-optic communication systems an extra session was devoted to this

topic. Another session covered the topic of electronic signal processing, which has attracted a lot of interest in the field of optical communications over the past years. In addition to that, there were talks about the theory behind the physical effects relevant to transmission at 100 Gbit/s as well as reports on system experiments.

Die ITG-Fachgruppe 5.3.1 – Modellierung photonischer Komponenten und Systeme – wurde 1999 gegründet und trifft sich seitdem zweimal jährlich an wechselnden Standorten zu einem Workshop über aktuelle



Teilnehmer der ITG-Fachgruppentagung vor dem Ohm-Denkmal an der TU München

- 9.1 Workshop der ITG-Fachgruppe 5.3.1: 100 Gbit/s-Ethernet, 12. und 13. Februar 2007
- 9.2 Exkursion zur Sendeanlage Hühnerberg des Bayerischen Rundfunks, 11. Oktober 2007
- 9.3 Erstes Projekttreffen der WPR.5 von NEWCOM++, 25. und 26. Februar 2008
- 9.4 Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2008 an Prof. Kötter, Stuttgart, 5. Juni 2007
- 9.5 Zweites Projekttreffen von N-CRAVE, WPR.5, am LNT, 24. und 25. Juli 2008
- 9.6 Exkursion zur Firma ADVA Optical Networking nach Meiningen, 7. und 8. Oktober 2008
- 9.7 Graduierungsfeier zum Anlass „10 Jahre MSCE“, Rohde & Schwarz, München, 24. Oktober 2008

Themen aus dem Bereich der optischen Komponenten und Systeme. Im Februar 2007 wurde dieses Treffen nun schon zum zweiten Mal am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik abgehalten, diesmal zum Thema „100 Gbit/s-Ethernet“.

An zwei Tagen wurden aktuelle Entwicklungen und Probleme der optischen Datenübertragung bei höchsten Bitraten diskutiert. Dr. Bunge von der TU Berlin hat hierüber für die NTZ einen Aufsatz verfasst, der nachfolgend verkürzt wieder gegeben ist:

Die ITG-Fachgruppe 5.3.1 traf sich am 12. und 13. Februar 2007 an der TU München zu einem Workshop zu dem Thema „Technologien für 100 Gbit/s-Ethernet“, der von Prof. Hanik vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der Technischen Universität München und dessen Mitarbeitern organisiert wurde. Es beteiligten sich mehr als 50 Teilnehmer aus Industrie, technischen Universitäten und verschiedenen Forschungsinstituten. Die Atmosphäre war gelockert und produktiv, was sich in guten Vorträgen und intensiven Diskussionen zwischen den Beiträgen und während der Pausen äußerte.

Das Thema „100 Gbit/s-Ethernet“ ist hochaktuell, da bis zum Jahr 2010 erste funktionstüchtige Übertragungssysteme mit dieser Datenrate zur Abdeckung des stetig steigenden Datenverkehrs entwickelt werden sollen. Gerade formieren sich Forschungsverbünde und Standardisierungsgruppen, die sich intensiv mit dieser Thematik beschäftigen. Zu Beginn stellte R.P. Braun von der T-Systems in einem eingeladenen Vortrag *Carrier-Grade Ethernet Networking* vor, wobei er über erste Standardisierungsaktivitäten berich-

tete und das Thema unter verschiedenen techno-ökonomischen und übertragungstechnischen Aspekten sowie vom Standpunkt des Networkings aus beleuchtete. Diese Einführung zeigte, dass es bei 100 Gbit/s-Ethernet nicht nur um Übertragungsaspekte geht, sondern dass deutlich mehr Punkte angesprochen werden müssen.

Im Laufe des weiteren Workshops lagen die Schwerpunkte dann allerdings doch auf der Übertragungstechnik. Die erste Sitzung behandelte technologische Aspekte und Komponenten für 100 Gbit/s Ethernet. J. Wang von der Universität Karlsruhe stellte ein Konzept zur rein optischen Wellenlängenumsetzung mit Hilfe eines Delay-Line-Interferometers und eines Halbleiterlaser-Verstärkers als nichtlineares Element vor. Es wurde gezeigt, dass mit diesem Aufbau auch bei sehr hohen Datenraten bis 100 Gbit/s eine rein optische Umsetzung der Wellenlängen möglich ist.

Die Universität Erlangen-Nürnberg (K. Cvecek) stellte ein Konzept zur rein optischen Signalverarbeitung vor, bei dem quaternär differentiell phasenmodulierte (DQPSK) Signale mit 80 Gbit/s in einem nichtlinearen verstärkenden Schleifenspiegel (NALM) regeneriert werden. Der Einsatz eines mehrstufigen Modulationsverfahrens hat Vorteile bei hohen Datenraten, da sich dadurch die Symbolrate verringern lässt. Dr. Pachnicke von der Universität Dortmund zeigte Ergebnisse einer Analyse von Verstärkertransienten in Metronetzen mit Kanaldatenraten von 107 Gbit/s. Die etwas höhere Datenrate im Vergleich zu 100 Gbit/s ergibt sich aus der Verwendung eines Fehlerkorrekturverfahrens (FEC), das zusätzlichen *Overhead* von ca. 7% erzeugt. Die Verstärkertransienten entstehen, falls in einer Übertragungsstrecke einzelne Wellenlängenkanäle ausfallen oder abgeschaltet werden, wodurch sich der Arbeitspunkt des Verstärkers verändert.

In der zweiten Sitzung wurde über neuartige Modulationsverfahren berichtet, die für die Übertragung mit 100 Gbit/s Vorteile bieten. Die TU Berlin (J. Fischer) stellte ein

bandbreiteneffizientes Modulationsformat mit alternierender Polarisation vor, das sein schmales Spektrum gut in das Wellenlängenraster einpasst und dadurch sehr robust ist. Die Universität Paderborn (S. Hoffmann) berichtete über Ergebnisse zur kohärenten QPSK-Übertragung, bei der beim Sender auf hochwertige Laser und am Empfänger auf eine Phasenregelschleife verzichtet wird. Dafür kommen preiswerte DFB-Laser und ein echtzeitfähiger digitaler Phasenschätzer zum Einsatz.

In letzter Zeit werden immer mehr Arbeiten zu Vielträgerverfahren vorgestellt, bei denen die Kanaldatenrate auf viele elektrische Subträger aufgeteilt wird, wodurch sich die Dispersionstoleranz deutlich erhöht. Bei Verwendung sehr vieler Träger kann sogar vollständig auf optische Dispersionskompensation verzichtet werden.

Eine sehr elegante und effiziente Möglichkeit des Vielträgerverfahrens ist insbesondere orthogonales Frequenzmultiplex (OFDM). Zu diesem Thema gab es zwei Beiträge: H. Grieser von der Fa. Ericsson gab eine schöne Einführung in die Thematik und beschrieb das Verfahren. Danach stellte die Firma VPIsystems (H. Louchet) Simulationsergebnisse zur OFDM-Übertragung vor. Es wurde gezeigt, dass eine Datenrate von 100 Gbit/s grundsätzlich machbar ist, allerdings zurzeit technologisch noch nicht beherrscht wird. Insbesondere stellt die digitale Signalverarbeitung bei sehr hohen Datenraten ein Problem dar. Abschließend stellte M. Serbay von der Universität Kiel ein mehrstufiges Modulationsformat (Inverse-RZ-QASK-DQPSK) mit einer spektralen Effizienz von 4 bit/s/Hz vor. Hier ist die Information sowohl in der Amplitude als auch in der Signalphase enthalten.

Der zweite Tag begann mit einer Sitzung zu Vorverzerrung und Entzerrung. N. Neumann von der TU Dresden behandelte Designaspekte optischer IIR-Filter für schnelle Übertragungssysteme. F. N. Hauske von der Universität der Bundeswehr präsentierte zwei Verfahren zur iterativen Entzerrung mehrstufiger Modulationsformate, wodurch die

Tagungsprogramm:

Carrier Grade Ethernet Networking

R.-P. Braun; T-Systems

100 Gbit/s All-Optical Wavelength Conversion with a SOA and a Delay-Interferometer

J. Wang, Universität Karlsruhe (TH)

Regeneration of an 80-Gbit DQPSK signal using a nonlinear amplifying loop mirror (NALM)

K. Cvecek, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Analyse von Verstärkertransienten in Metro-Netzen mit Kanaldatenraten von 107 Gb/s

S. Pachnicke, Universität Dortmund

Bandbreiteneffiziente Modulationsverfahren mit alternierender Polarisation

J. Fischer, Technische Universität Berlin

PLL-free coherent optical QPSK transmission with realtime digital phase estimation using DFB lasers

S. Hoffmann, Universität Paderborn

Mehrträger-Modulationskonzepte für die hochbitratige optische Übertragung

H. Griebner, Ericsson

Transmission of 100Gbit/s data rate using OFDM technology

H. Louchet, VPIsystems

Towards 4 Bits per Symbol using 16-ary Inverse-RZ-QASK-DQPSK

M. Serbay, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Designaspekte optischer IIR-Filter für schnelle Übertragungssysteme

N. Neumann, Technische Universität Dresden

Iterative Entzerrung mehrstufiger Modulationsverfahren - Komplexitätsreduktion mittels verketteter, einfacher MLSE-Bausteine

F. N. Hauske, Universität der Bundeswehr München

Elektronische Vorverzerrung der Intrakanal-Nichtlinearitäten für verschiedene Modulationsformate (1)

C. Weber, Technische Universität Berlin

Elektronische Vorverzerrung der Intrakanal-Nichtlinearitäten für verschiedene Modulationsformate (2)

S. Hellerbrand, Technische Universität München

Komplexitätsreduktion des MSPE-Algorithmus (Multi-Symbol Phase Estimation) durch iterative Taktphasenrückgewinnung für DQPSK-modulierte, hochbitratige Übertragung

K. Piyawanno, Universität der Bundeswehr München

Strukturen für adaptive elektrische Entzerrer im Multi-Gbit/s-Bereich

D. Elfinger, Universität Stuttgart

Serielle 100Gbit/s Übertragung und System-Aspekte

E. Lach, Alcatel-Lucent

Theorie zur Beschreibung der Auswirkungen von Cross-Polarization Modulation in DWDM-Systemen

M. Winter, Technische Universität Berlin



Komplexität deutlich verringert werden kann.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Vorverzerrung optischer Signale zur Verbesserung der Systemperformance. C. Weber von der TU Berlin zeigte Studien zur elektrischen Vorverzerrung zur Unterdrückung von Nichtlinearitäten und beschrieb Möglichkeiten zur Komplexitätsreduktion.

Auch der nächste Vortrag widmete sich diesem Thema. Dabei präsentierte S. Hellerbrand von der TU München Ergebnisse für verschiedene Modulationsformate und zeigte, wie die Leistungsfähigkeit der Vorverzerrung durch Modifikation der sendeseitigen D/A-Wandler verbessert werden kann. D. Elfinger von der Universität Stuttgart referierte über die Vereinfachung von Strukturen für adaptive elektrische Entzerrer im Multi-Gbit/s-Bereich. Es wurde gezeigt, wie man durch Parallelisierung die Verarbeitungsgeschwindigkeit herabsetzen kann.

Die letzten Vorträge beschäftigten sich wieder mit der eigentlichen Übertragung. E. Lach von Alcatel-Lucent berichtete über Experimente mit serieller 100 Gbit/s-Übertragung. M. Winter (TU Berlin) beschloss den Workshop mit einem Beitrag zur Kreuz-Polarisationsmodulation durch Nichtlinearitäten in WDM-Systemen, was Auswirkungen auf die Effizienz von PMD-Kompensatoren haben kann.

Dieser zweitägige Workshop in München wurde von allen Teilnehmern als äußerst interessant und hilfreich empfunden. Zur guten Atmosphäre hat sicher auch das gemeinsame Abendessen im Münchner Löwenbräukeller beigetragen, das – einer alten Tradition entsprechend – am ersten Abend stattfand.

9.2 Exkursion zur Sendeanlage Hühnerberg des Bayerischen Rundfunks, 11. Oktober 2007

Bernhard Göbel

Die (fast) jährlich stattfindende LNT-Exkursion führte Mitarbeiter und Studenten im Herbst 2007 bei schönstem Wetter nach Harburg im Landkreis Donau-Ries, wo wir uns vom technischen, kulinarischen und historischen Reichtum der schwäbischen Heimat von Prof. Hanik überzeugen konnten. Organisiert wurde diese Exkursion wie auch die Weihnachtsfeier 2006 von B. Göbel, P. Hanus und T. Mayer.

Das Vormittagsprogramm sah die Besichtigung der Sendeanlage Hühnerberg des Bayerischen Rundfunks (BR) vor, wo wir von Herrn Alwin Remmele, Leiter des Senderbetriebs Schwaben des BR, in die technischen Details der Anlage sowie des regionalen und überregionalen Sendernetzes eingewiesen wurden.

Der Sender Hühnerberg versorgt die Region mit den UKW-Programmen des BR und beherbergt einen DAB-Sender für digitales Radio. Darüber hinaus strahlt der Sender derzeit – bis zur flächendeckenden Einführung von DVB-T – terrestrisch empfangbares analoges Fernsehen aus. Zur Gewährleistung eines unterbrechungsfreien Sendebetriebs steht ein Dieselgenerator bereit, der – wie uns stolz berichtet wurde – seinen Teil dazu beigetragen hat, dass der Sender Hühnerberg in den vergangenen Jahren keine einzige Ausfallminute zu verzeichnen hatte. Für die mit Leistungen im Bereich weniger Milliwatt, wie sie etwa bei Mobilfunk und optischer Übertragung vorliegen, bestens vertrauten LNT-Angehörigen liegen die Sendeleistungen am Hühnerberg in fast schon unvorstellbaren Dimensionen: zwischen einem und 25 kW für die Radioprogramme und 400 kW beim Fernsehsender. Angesichts der Tatsache, dass diese Leistungen seit

über 40 Jahren ohne Protest der Bevölkerung ausgestrahlt werden, mutet die Diskussion über mögliche Schäden durch Mobilfunkantennen fast schon ein wenig unsachlich an.

Zum Mittagessen ging es dann in die Burgschänke der nahe gelegenen Burg Harburg, einer vollständig erhaltenen mittelalterlichen Anlage, die zum Besitz der Fürsten zu Oettingen-Wallerstein gehört. Bei der anschließenden eineinhalbstündigen Führung konnten sich die Exkursionsteilnehmer vom guten Zustand der Verteidigungsanlagen, den beiden Folterkammern und dem Kerker – auch „Angstloch“ genannt – ein genaues Bild machen.

Es war ein erlebnisreicher Tag mit vielen Informationen über die Sendeanlage und eine Zeitreise durch 900 Jahre Geschichte. Auf der Rückfahrt nach München reichten die Organisatoren „Partimobil“ den Wanderpokal zur Ausrichtung von Weihnachtsfeier und Exkursion an das Team „Pheycoenige“ weiter.



Exkursionsteilnehmer vor dem Betriebsgebäude der Sendeanlage am Hühnerberg. Sechster von rechts: unser Gastgeber, Herr Alwin Remmele

9.3 Erstes Projekttreffen der WPR.5 von NEWCOM++, 25. und 26. Februar 2008

Timo Mayer und Danail Traskov

In February 2008, there was the kick-off meeting for *NEWCOM++*'s work package WPR.5 at LNT. Joint research interests have been identified and cooperation projects have been set up, which will be processed within the next three years. Besides the discussions at LNT, the guests were invited for dinner at Löwenbräukeller on the evening of February 25th.

Im Februar 2007 endete das dreijährige europäische Kooperationsprojekt *NEWCOM* (Network of Excellence in **W**ireless **C**ommunications) mit dem Thema „Drahtlose Kommunikationssysteme nach 3G“ und 61 internationalen Partnern. Dieses Projekt hatte das Ziel, die Forschung in Europa zu koordinieren und die Ergebnisse auf internationalem Parkett zu kommunizieren. Es wurde von der Europäischen Kommission durchaus als gut bewertet, jedoch waren daran zu viele Partner beteiligt.

Als Konsequenz wurden für das Nachfolgeprojekt nur noch maximal 18 Partner zugelassen, woraufhin es unter den 61 Partnern eine interne Ausschreibung um die zu vergebenen 18 Plätze gab.

Aufgrund der sehr guten Vorleistungen von Prof. Hagenauer und von Dr. Schreckenbach wurde der LNT einer der 18 Teilnehmer des Fortsetzungsprojekts *NEWCOM++*, das wiederum drei Jahre dauern soll und im Januar 2008 startete. *NEWCOM++* arbeitet dabei wie eine virtuelle Universität, bei der die Forscher je nach Forschungsinteressen in Work Packages und in Projekten gruppiert werden. Die 18 Partner kooperieren und koordinieren ihre Forschung, wovon auch unser Lehrstuhl profitieren wird.

Wichtiger Bestandteil des Kooperationsprojekts ist die Förderung der Zusammenarbeit durch Forschungsaufenthalte bei Partnern sowie gemeinsame Workshops und Seminare. Zusätzlich werden über Videokonferenzen virtuelle Vorlesungen zu aktuellen Themen angeboten. Das Projekt teilt sich in vier Untergruppierungen auf, welche gleichermaßen gefördert werden:

- Forschung,
- Management,
- Verteilung („Spreading“),
- Integration.

In jeder dieser Untergruppierungen gibt es mehrere Work Packages.

Eines davon, das WPR.5: „Coding for Multi-Hop Networks, including Network Coding“ wird von Prof. Ralf Kötter geleitet. Für dieses Forschungsgebiet organisierte der LNT – insbesondere die zuständigen Mitarbeiter Timo Mayer und Danail Traskov – im Februar 2008 ein zweitägiges Kickoff-Meeting, um die verschiedenen Partner des Work Packages zusammen zu bringen und die zu bearbeitenden Projekte festzulegen. An diesem Treffen nahmen neben dem LNT/TUM noch folgende Institutionen teil: aus Italien die Universitäten von Catania und Turin, aus Österreich die TU Wien und das FT Wien sowie TELECOM Bretagne (Frankreich) und die belgische Universität Gent.

Um gemeinsame Forschungsinteressen zu finden, wurden am ersten Tag von allen Teilnehmern Vorträge gehalten. Am Ende des zweiten Tages, der vorwiegend Diskussionen vorbehalten war, wurden die folgenden Teilprojekte definiert:

- Erasure Coding on the Network Layer,
- Network Coding and Geographic Routing,
- Information Theoretic Aspects behind Network Coding, und
- Practical Coding Schemes in Networks with Relays.

Dieses erste Projekttreffen mit zahlreichen Diskussionen wurde von allen Teilnehmern als sehr gelungen bezeichnet. Rege Diskussionen ergaben sich auch beim Abendessen im Löwenbräukeller, zu dem der LNT am ersten Abend eingeladen hatte. Das zweite Projekttreffen war im Herbst 2008 in Lausanne.

Im Anschluss an das WPR.5-Treffen fand am LNT das zweitägige WPR.4-Treffen statt – ebenfalls vom LNT organisiert.



Kick-Off-Treffen der Untergruppierung WPR.5 von *NEWCOM++* in der Bibliothek des LNT

9.4 Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2008 an Prof. Kötter, Stuttgart, 5. Juni 2007

Norbert Hanik

Professor Ralf Kötter has been awarded the 2008 Vodafone Innovation Award for his pioneering research on network coding. The prize is given to outstanding personalities each year for their seminal contributions to innovations in mobile communications. The award is worth 25.000 €.

The award ceremony took place on June 5th, 2008, in the Römerkastell in Stuttgart. Günther Oettinger, the prime minister of Baden-Württemberg, Vodafone Deutschland CEO Friedrich P. Jousen and Prof. Holger Boche of the Technical University of Berlin used their speeches to outline the scientific significance of Professor Kötter's work. Many colleagues and previous laureates saw an entertaining and magnificent evening on our institute head's honor. Congratulations from all of us at LNT!

Prof. Ralf Kötter wurde für seine bahnbrechenden Forschungsarbeiten

auf dem Gebiet der Netzcodierung der Vodafone-Innovationspreis 2008 verliehen. Mit diesem Preis werden jährlich herausragende Persönlichkeiten ausgezeichnet, deren Arbeiten wegweisende Innovationen auf dem Gebiet der Mobilkommunikation ermöglichen. Zu den bisherigen Preisträgern zählen unter Anderen Prof. Josef A. Nossek (TU München, 1998), Prof. Heinrich Meyr (RWTH Aachen, 2000), Prof. Hubert Mathar (RWTH Aachen, 2002), Dr. Stephan ten Brink (Bell Labs, 2003), Prof. Holger Boche (TU Berlin, 2006) und Prof. Martin Bossert (Universität Ulm, 2007). Der Preis ist nicht nur mit der Übergabe eines wertvollen Pokals verbunden, sondern auch mit 25.000 € dotiert.

Die diesjährige Preisverleihung fand am 5. Juni 2008 im festlichen Rahmen des Römerkastells in der Baden-Württembergischen Landeshauptstadt Stuttgart statt. Neben dem Innovationspreisträger Prof. Ralf Kötter wurden Dr. rer. nat. Wojciech Welnic für seine Dissertation an der RWTH Aachen mit dem Förderpreis im Bereich Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie der Betriebswirtschaftler Dipl.-Kfm. Sven Heidenreich mit dem Förderpreis im



Bereich Markt- und Kundenorientierung geehrt.

Die herausragende Reputation des Vodafone-Innovationspreises wird wohl am besten durch die erlesene Reihe der Festredner und Laudatoren offensichtlich, die zusammen mit dem musikalischen und kulinarischen Rahmenprogramm den Abend zu einem unvergesslichen Erlebnis werden ließen.

Der Vorsitzende der Geschäftsführung von Vodafone Deutschland, Friedrich P. Jousen, betonte in seiner Eröffnungsansprache die Wichtigkeit innovativer Forschung für den wirtschaftlichen Erfolg: „Nicht nur wir als Mobilfunkunternehmen, auch der Standort Deutschland insgesamt profitiert von der Arbeit dieser kreativen Forscher. Ihr besonderer Verdienst liegt nicht nur darin, technische Entwicklungen voranzutreiben oder das Verständnis ökonomischer Zusammenhänge zu erweitern. Sie zeigen uns auch, wie wichtig es ist, bisher unbekannte Wege einzuschlagen und Neuland zu betreten“.

Als Hauptredner ging Günther H. Oettinger, der Ministerpräsident von Baden-Württemberg, besonders auf die wirtschaftliche und wissenschaftliche Exzellenz der süddeutschen „Leuchttürme“ Baden-Württemberg und Bayern ein – natürlich nicht ohne zu erwähnen, dass im Endspurt der wissenschaftlichen Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder nach der zweiten Runde Baden-Württem-



Ministerpräsident Oettinger, Prof. Kötter und F. P. Jousen, CEO Vodafone Deutschland

berg die Nase vorn hatte. Der Ministerpräsident betonte, dass in Baden-Württemberg nach wie vor 80% der Forschungsleistung von der forschenden Industrie erbracht werde, und äußerte den Wunsch und den Willen, dass Deutschland auch in Zukunft ein bedeutender Standort für die industrielle Wertschöpfung gerade in der Telekommunikation bleiben solle.



Gastgeber Friedrich P. Jousen

Im Anschluss daran hielt Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. Holger Boche von der TU Berlin, der Vodafone-Innovationspreisträger 2006, die Laudatio auf Prof. Kötter. Der Laudator betonte die Schwierigkeit seiner Aufgabe, nämlich ein hochkomplexes Thema wie die Netzwerkinformationstheorie einem breiteren Publikum nahe zu bringen. Schon in der Tatsache, dass die nur noch von einigen wenigen Spezialisten durchdrungenen Gebiete der heutigen Informationstechnik gleichzeitig enorme Veränderungen im alltäglichen Leben der Menschen bewirken, sieht Boche ein Dilemma der modernen Zivilisation. In seiner Rede schlug er einen weiten Bogen von den grund-



Moderatorin Annett Möller

legenden Arbeiten Shannons aus dem Jahre 1948 über die Forschungen zum Mehrfachzugriffs- und zum Verteilkanal bis hin zu heutigen Netzwerken, die – so der Laudator wörtlich – „einen wahren Ozean von Übertragungsmöglichkeiten bieten. Eine Leistung des diesjährigen Preisträgers war es, Ordnung in diese Vielfalt zu bringen“. Zum Abschluss seiner Laudatio betonte Prof. Boche



Festredner Günther H. Oettinger

nochmals ausdrücklich, welchen Gewinn der Wechsel Kötters von Illinois nach München für den Forschungsstandort Deutschland darstellt.

Die Festveranstaltung wurde von der bekannten NTV-Moderatorin Annett Möller charmant und professionell moderiert. Ein festliches Gala-Dinner und die musikalische Umrahmung durch eine A-Capella Band sorgten für einen rundum gelungenen Abend. Ein zehnminütiges Videoportrait zeichnete das Bild eines sympathischen und an der Sache interessierten Forschers und Hochschullehrers Ralf Kötter. Der Film, der im Internet verfügbar ist, begleitet Prof. Kötter an einem typischen Arbeitstag und verwebt ge-



Eintrag ins Ehrenbuch

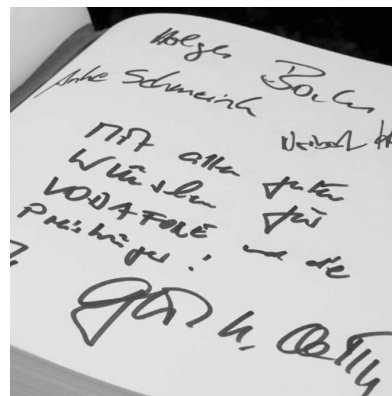


Laudator Holger Boche

schenkt Interview-Sequenzen mit Szenen aus Vorlesungen im Hörsaal, und Kommentaren von Kollegen.

Ralf Kötter wurde von wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Seite höchste Anerkennung für seine persönlichen Leistungen entgegengebracht. Die Mitarbeiter des LNT schließen sich dieser allgemeinen Wertschätzung mit Stolz an.

Das Foto in der Mitte unten zeigt den Ministerpräsidenten beim Eintrag in das Ehrenbuch dieser Veranstaltung. Das Foto rechts daneben zeigt, dass der Autor dieses Beitrags seine Unterschrift gleich neben den Signaturen von Günther Oettinger und des Laudators Holger Boche platzieren konnte.



Auszug aus dem Ehrenbuch

In 2008 on July 24th and 25th, the second meeting of the European project N-CRAVE took place at the Institute for Communications Engineering. The purpose was to present results which were obtained in different work packages since the beginning of the project as well as to coordinate the activities of the international crowd participating in N-Crave.

Since N-CRAVE targets on demonstrating the superiority of network coding in pragmatic scenarios, the talks about the network simulator, currently developed in Porto, and the test-bed setup at the University of Thessaly, Greece, were of great interest. Subsequent discussions treated, amongst others, the question which network coding strategies should be considered for the simulator and which applications (e.g. video streaming) are suitable for the evaluation of the simulated strategies. Besides scientific and technical issues, the focus was also on administrative details like project monitoring and timely information flow between the members. On the evening of July 24th, all guests were invited for dinner at the Augustiner-Restaurant.

Am 24. und 25. Juli 2008 fand das zweite Treffen der Untergruppierung (Work Package) „WPR.5: Coding for Multi-Hop Wireless Networks“ des europäischen Forschungsprojekts N-CRAVE in München statt. Gastgeber und Organisatoren waren Prof. Kötter und Tobias Lutz vom Lehrstuhl für Nachrichtentechnik. Weiter haben teilgenommen:

- Leandros Tassioulas, Savvas Gitzenis und Leonidas Georgiadis vom Center for Research and Technology Hellas (CERTH),
- João Barros und Rui Prior von der Universität Porto (FCUP), sowie

9.5 Zweites Projektreffen von N-CRAVE, WPR.5, am LNT, 24. und 25. Juli 2008

Tobias Lutz

- Laurent Massoulie (Thomson), Alberto Lopez (Telefonica) und Suhas Diggavi (EPFL).

Sinn und Zweck dieses zweitägigen Treffens war, erste Ergebnisse verschiedener Work Packages von N-CRAVE zu präsentieren sowie den Schaffensprozess der über Europa verteilten Mitglieder zu koordinieren. Das Hauptaugenmerk dieses Projekts liegt auf der Demonstration der Praktikabilität von Netzcodierung. Deshalb wurden vor allem die Vorträge

- über den sich in der Entwicklungsphase befindenden Netzsimulator sowie
- über das zu Experimentierzwecken an der Universität von Thessalien in Griechenland aufgebaute Rechnernetz

mit höchster Aufmerksamkeit verfolgt. Im Anschluss an die einzelnen Referate entstand eine lebhafte Diskussion darüber, welche Methoden der Netzcodierung eine sinnvolle Erweiterung des Netzsimulators darstellen würden bzw. mit welchen Applikationen (Video Streaming, Chat, etc.) die gewählten Methoden letztendlich validiert werden sollen.

Eine weitere interessante und lebhafte Diskussionsrunde beschäftigte sich mit der wichtigen praktischen Fragestellung, welche WLAN-Karten und Open Source Treiber zur Implementierung von Netzcodierungsstrategien für das aufgebaute Rechnernetz geeignet sind.

Neben den wissenschaftlichen und technischen Details wurden vom Projektkoordinator, Prof. Tassioulas, auch administrative und organisatorische Punkte zur Sprache gebracht, angefangen vom sog. Project Monitoring (d. h. das regelmäßige Verfassen von Fortschrittsberichten) bis hin zu Möglichkeiten, eine breitere Öffentlichkeit auf die erzielten Ergebnisse aufmerksam zu machen.

Dieses als äußerst konstruktiv zu bewertende und in harmonischer Atmosphäre abgelaufene Meeting wurde durch ein gemeinsames Abendessen am ersten Abend im Augustiner-Restaurant abgerundet. Hier konnten sich alle Teilnehmer mit typisch bayerischen Köstlichkeiten verwöhnen lassen und auf einem anschließenden Spaziergang durch das nächtliche München die Schönheit unserer Stadt erleben.



Die Teilnehmer des N-CRAVE-Meetings am LNT, von links: R. Prior, L. Tassioulas, S. Gitzenis, L. Georgiadis, A. Lopez, S. Diggavi, R. Kötter, J. Barros und L. Massoulie.

9.6 Exkursion zur Firma ADVA Optical Networking nach Meiningen, 7. und 8. Oktober 2008

Florian Breyer



Die jährlich stattfindende Exkursion des LNT Anfang Oktober 2008 führte Mitarbeiter und Studenten für zwei Tage in den Thüringer Wald nach Eisenach und Meiningen. Die Firma ADVA Optical Networking hatte Prof. Hanik eingeladen, mit seinen Mitarbeitern nach Meiningen zu kommen und deren Produktionsstätten zu besichtigen. Organisiert wurde diese Exkursion wie auch die Weihnachtsfeier 2007 von Stephan Hellerbrand, Florian Breyer und Leonardo Coelho.

Der Dienstagvormittag war bestimmt durch die lange Busanfahrt nach Eisenach. Diese fand im Hotel Haus Haunstein ihr Ziel, wo wir uns zunächst beim Mittagessen mit herrlichem Panoramablick auf die Wartburg stärkten. Eine kurze und schöne Wanderung führte uns dann zum kulturellen Höhepunkt des ersten Tages: die Wartburg.

Diese ist eine Repräsentationsburg, die 1999 von der UNESCO zum Weltkulturerbe erhoben wurde und in der deutschen Geschichte eine bedeutende Rolle spielte. So übersetzte Martin Luther auf der Wartburg nach seinem Gang nach Worms das neue Testament ins Deutsche, quasi in Schutzhaft genommen vom sächsischen Kurfürst Friedrich dem Weisen. Die Burg war Wirkungsstätte der heilig gesprochenen Elisabeth von Thüringen und 1817 Austragungsort des ersten Wartburgfestes deutscher Studenten. Eine aufschlussreiche Führung gab uns einen tiefen Einblick in diesen geschichtsträchtigen Ort.

Im Anschluss daran machten wir uns mit dem Bus auf den Weg nach Meiningen. Der Abend fand seinen Abschluss mit einem gemeinsamen Abendessen im Hotel Schlundhaus mit original Thüringer Küche.

Am Mittwoch stand der Besuch der Entwicklungs- und Produktionsstätten der Firma ADVA auf dem Programm, die optische Systeme für die Mittel- und Langstrecken-Kommunikation, sog. Metro-Netze, mit

Datenraten bis zu 40 Gbit/s herstellt. Mit großem Erstaunen haben wir festgestellt, dass in der Fertigung alle optischen Systeme von Hand aufgebaut werden. In der Entwicklungsabteilung wurde gezeigt, wie einzelne Komponenten ausgewählt und getestet werden, welche Entwicklungsstadien ein Produkt durchläuft und wie es in die Fertigung eingeführt wird. Somit haben wir den kompletten Werdegang einer optischen Datenübertragungskomponente von der Entwicklung bis hin zur Fertigung gesehen.

Wir bedanken uns für die kompetente Erklärung der Firmenstruktur

und -philosophie bei Dr. Michael Eisel und bei seinen Mitarbeitern für die interessanten Führungen.

Nach einem entspannenden Mittagessen im Schlossrestaurant zu Meiningen ging es zurück nach München, bei schönstem Wetter durch das herbstliche Thüringen und Franken. Wichtig für uns Organisatoren war auch die Weitergabe des gefürchteten Wanderpokals.



Die Wartburg in Eisenach, Entstehungsort der Luther-Bibel



Gruppenbild der 20 Exkursionsteilnehmer in der Fertigungshalle von ADVA Optical Networking in Meiningen

9.7 Graduierungsfeier zum Anlass „10 Jahre MSCE“, Rohde & Schwarz, München, 24. Oktober 2008

Joachim Hagenauer

In connection with the graduation of the class of 2006/2008 of MSCE and MSMWE the MSCE program celebrated its 10th anniversary with a festive event and dinner at the Research and Development Centre of Rohde and Schwarz a long term sponsor of our program and again for this event. The guest of honour was the State Minister of Research, Dr. Goppel, who praised the MSCE program as the first of its kind in Bavaria. The Vice-President of TUM Dr. Wülbern and Professor Rummel showed the influence MSCE had on many other TUM curricula. Professor Hagenauer handed over the task of Program Director to his successor at LNT, Professor Kötter.

Many former alumni told about their career experience and what

they learned from MSCE. The Dean Professor Schlichtmann handed out awards to the best students. The organizers of the MSCE program considered the high number of applications and the 95% percent success rate of the students as its greatest achievement. Bavarian and Chinese folk music groups entertained the guests and symbolized the link between Bavaria and the international community.

Die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München bietet seit dem Wintersemester 1998/99 den internationalen Studiengang *Master of Science in Communications Engineering* (MSCE) an. Dieser Kurs entstand aus einer Initiative des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik (LNT) unter Beteiligung vieler Kollegen aus der Fakultät.

Am 24.10.2008 konnte im Forschungs- und Entwicklungszentrum von Rohde & Schwarz im Münch-

ner Osten, einem der Sponsoren des MSCE-Programms, bereits das zehnjährige Jubiläum in festlichem Rahmen gefeiert werden. Die Geschäftsleitung von R&S war durch die Herren Michael Vohrer und Christian Leicher vertreten, zusammen mit dem Seniorchef Schwarz, einem der treuen Besucher unserer Graduierungsveranstaltungen. Diese Herren bekundeten damit erneut auf großzügige Weise die Verbundenheit mit dem MSCE-Programm.

Verschiedene Redner gaben einen Rückblick über die 10 Jahre MSCE. Dr. Thomas Goppel, der damalige Bayerische Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst, würdigte das MSCE-Programm als eine Pioniertat. Der Vizepräsident der TU München, Dr. Kai Wülbern, und Professor Reinhard Rummel bezeichneten das Programm als ein Vorbild für die ganze TUM. MSCE-Alumni gaben live oder über Video Auskunft über ihre Karriere. Anwesend waren auch die ersten beiden



Festveranstaltung „10 Jahre MSCE“ im Forschungs- und Entwicklungszentrum der Firma Rohde & Schwarz

Programm-Manager Christian Bettstetter und João Barros.

Die eigentliche Graduierung der *Class of 2006/2008* nahmen die beiden langjährigen Programmdirektoren von MSCE und MSMWE – Prof. Hagenauer und Prof. Russer – vor, gemeinsam mit dem Dekan Prof. Schlichtmann und dem Studiendekan Prof. Herzog. Die lokalen und internationalen Aspekte unseres Studien-

ländische Studierende mit fachlichen Voraussetzungen und Interesse für die Kommunikationstechnik und Elektronik sowie für ein Studium an der TU München. Die Fakultät beabsichtigt mit dem Programm, den „High-End“-Bereich ihres Bildungsangebotes zu erweitern; die Qualität soll mit Spitzenabschlüssen bedeutender US-Universitäten konkurrieren können. Damit ist das



Michael Vohrer von Rohde & Schwarz, MSCE-Programmdirektor Prof. Joachim Hagenauer, Wissenschaftsminister Dr. Thomas Goppel und TU-Vizepräsident Dr. Kai Wülbern

gangs wurden auch durch das musikalische Rahmenprogramm deutlich: Eine bayerische und eine chinesische „Stubenmusi“ traten gegeneinander an. Die Absolventen drückten in mehreren Reden ihren Dank aus und bedankten sich insbesondere beim Programm-Manager Pavol Hanus für die gute Organisation sowie mit Blumen bei Frau Nicole Rossmann und Frau Gabriele Spöhrle für die sehr persönliche Betreuung während ihres Studiums.

Nachfolgend berichtet Prof. Joachim Hagenauer, der die gesamten bisherigen 10 Jahre der MSCE-Programmdirektor war und nun sein Amt an Professor Ralf Kötter abgegeben hat, über seine Erfahrungen.

Das MSCE-Programm hat wesentlich zur Internationalisierung der Fakultät beigetragen. Es wendet sich hauptsächlich an hochbegabte aus-

englischsprachige MSCE-Programm ein wesentlicher Beitrag zum internationalen Wettbewerb.

Das Motto war und ist „We need to get a fair share of the best brains of the world“. Da anders als zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts Deutsch nicht mehr die Sprache der Natur- und Ingenieurwissenschaften ist, konnten Deutschkenntnisse keine Voraussetzung zum Studium sein. Diese sollen aber während der zwei Jahre erworben werden.

Ziel unseres Masterprogramms ist es, den internationalen Studenten sowohl fachliche Vielseitigkeit als auch wissenschaftliche Eigenständigkeit zu vermitteln, um Probleme in der Grundlagen- und der angewandten Forschung lösen sowie Entwicklungen in der Industrie oder im akademischen Umfeld analysieren zu können. Gleichzeitig sollen sie an die

deutsche Kultur allgemein und die Industriekultur im Speziellen herangeführt werden. Ein Student bekannte kürzlich: „Endlich kann ich nach zwei Jahren Goethes Werther in der Originalsprache lesen“.

Auf wissenschaftlichem Gebiet beinhaltet das auch die Befähigung zu selbständiger Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die Fähigkeit, Tendenzen und Entwicklungen zu erkennen und die eigenen Ergebnisse kritisch einzuordnen. Dazu dienen vertiefende und spezialisierende Veranstaltungen aus dem Bereich der Kommunikationstechnik und der Elektronik und die Masterarbeit.

Die fachlichen Schwerpunkte hängen von der gewählten Studienrichtung ab, wobei zwei Alternativen zur Auswahl stehen:

- Der Schwerpunkt *Communications Systems* (CS) widmet sich



TU-Professor Reinhard Rummel, der neue MSCE-Programmdirektor Prof. Ralf Kötter, MSCE-Alumni Dr. Andrew Schaefer und MSCE-Absolventin Velislava Marcheva

den systematischen Aspekten der Kommunikationstechnik. Es werden Vertiefungsfächer über Realzeitsysteme, Bild- und Videokompression, Satellitennavigation, Kanalcodierung, Kryptographie, Mustererkennung, optische Übertragungstechnik, Mobilfunk, MIMO-Systeme sowie Kommunikationsnetze angeboten.

- *Communications Electronics (CE)* behandelt dagegen die Hardwareimplementierung von Kommunikationssystemen. Vermittelt werden Lehrinhalte über digitale, analoge und Mixed-Signal-Schaltungstechnik, Testen digitaler Schaltungen, Entwurfsmethodik und -automatisierung, Architekturkonzepte für Kommunikations-ICs, System-on-Chip-Lösungen, HW/SW-Codesign, Physikalische Elektronik, Nanoelektronik, Nanotechnologie sowie Halbleiterproduktionstechnik.

Während des zweijährigen MSCE-Studiums soll die ingenieurwissenschaftliche Methodik erlernt werden, komplexe Probleme und Aufgabenstellungen zu formulieren, diese kritisch zu hinterfragen und weiter zu entwickeln. Im Rahmen von Seminaren, Kolloquien und Masterarbeiten werden die Studierenden intensiv in die Forschungsaktivitäten und Kooperationen einzelner Institute eingebunden. Jedem neuen MSCE-Student und jeder -Studentin – erwähnenswert ist auch der hohe Frauenanteil beim MSCE-Programm – wird ein Heimatinstitut zugewiesen, an das sie aber nicht gebunden sind.

Der hohe Forschungsanspruch der Lehrveranstaltungen basiert auch auf der hohen wissenschaftlichen Reputation der Lehrenden: Viele Professoren sind „IEEE Senior Member“ und „IEEE Fellows“.

Durch die enge Kooperationen der beteiligten Lehrstühle mit Forschungseinrichtungen weltweit können wir hochrangige Forscher aus dem Ausland einladen, die im zweiten MSCE-Semester eine Vorlesung über ihr Spezialgebiet halten. So konnten wir bis heute folgende renommierte Wissenschaftler für eine Lehrveranstaltung im Rahmen von MSCE gewinnen:

- Prof. Dr. John G. Proakis (Northeastern University),
- Prof. Dr. Stephen B. Wicker (Cornell University),
- Prof. Dr. Ruey-Wen Liu (University of Notre Dame),
- Prof. Dr. Rozenblit Jerzy (University of Arizona),
- Prof. Dr. Daniel J. Costello (University of Notre Dame),
- Prof. Dr. Thomas Kailath (Stanford University),
- Prof. Dr. Patrick Dewilde (TU Delft, heute Direktor des Institute of Advanced Studies der TUM),
- Prof. Dr. Ezio Biglieri (Politecnico di Torino),
- Prof. Dr. Alex Gershman (McMaster University),
- Prof. Dr. Raymond Yeung (Chinese University of Hong Kong),
- Prof. Dr. Paolo Ienne (École Polytechnique Fédérale de Lausanne),
- Prof. Dr. Max Costa (Universidade Estadual de Campinas),
- Prof. Dr. Wayne D. Grover (University of Alberta),
- Prof. Dr. Michael Honig (Northwestern University),
- Prof. Dr. Yih-Fang Huang (University of Notre Dame),



Musikalische Umrahmung der Festveranstaltung: Bayerische Blasmusik aus Wall ...



... im Wettstreit mit chinesischer Form von „Stubnmusi“

- Prof. Dr. David M. Binkley (University of North Carolina at Charlotte),
- Prof. Dr. Subhasis Chaudhuri (IIT Bombay),
- Prof. Dr. Anthony Ephremides (University of Maryland).

Wichtiger Aspekt der Ingenieurausbildung ist der Praxisbezug, was durch ein breit gefächertes Angebot an begleitenden Praktika und ein obligatorisches 9-wöchiges Industriepraktikum erreicht wird. Dank enger Kooperation mit der Industrie können wir unseren Studierenden im dritten Semester zwei Veranstaltungen von Industriedozenten anbieten, die sich aktuellen wissenschaftlichen Themen in ihrem industriellen Bezug widmen. Außerdem besteht im abschließenden vierten Semester die Möglichkeit, die sechsmonatige Master Thesis auch bei einem der Industriepartner anzufertigen. Die Fähigkeit, größere und komplexe Ingenieursprojekte anzugehen und zu leiten, wird durch eine fächerübergreifende Management-Vorlesung vermittelt. Zusätzlich werden den Studierenden soziale Kompetenzen wie Team- und Projektarbeit, Führungskompetenz und die Fähigkeit zur Präsentation und Dokumentation beigebracht.

Die enge Kooperation mit der Industrie sorgt dafür, dass sich ein Kontakt zwischen den internationalen Studierenden und der deutschen Industrie entwickelt. Eine solche enge Kooperation mit der Industrie ist in den Ingenieurwissenschaften generell selbstverständlich und an der TU München zudem Teil des Leitmotivs, eine unternehmerische Universität zu sein.

Das durch unser gezieltes Betreuungsprogramm aufgebaute Zusammengehörigkeitsgefühl der Klassen und die Fortführung der Betreuung durch ein Alumni-Programm sorgen dafür, dass wir mit etwa 80% unserer Ehemaligen aus den neun bereits graduierten Jahrgängen noch immer in Kontakt stehen. Diese sind die besten Werbeträger des MSCE-Programms. 2007 wurde sogar aus

studentischer Eigeninitiative heraus eine „MSCE-Student and Alumni-Organisation“ (MSCEconnect) gegründet. Die involvierten älteren Studenten haben den Anspruch, ihre Erfahrungen an die Neuen weiter zu geben und die Kontakte zu unseren Alumni zu intensivieren.

Wir können deshalb genau den weiteren Werdegang der MSCE-Alumni verfolgen. Dabei zeigt sich, dass dieser stark von der Konjunktur abhängt: 2000 entschieden sich 22 von 24 Absolventen für einen Arbeitsplatz in Deutschland, während im Krisenjahr 2002 nur noch zwölf von 33 Absolventen in Deutschland bleiben wollten. Viele unserer Studenten, die in ihr Heimatland zurückkehren, arbeiten aber vor Ort für die deutsche Industrie und nutzen Kontakte, die sie während ihrer Zeit in München geknüpft haben.

23% der Absolventen der Jahre 2000 bis 2006 haben sich für eine Promotion entschieden. Viele bleiben dafür an der TU München. Einer der ersten Graduierten des MSCE-Programms, Zaher Dawy, wurde nach erfolgreicher Promotion an der TU München inzwischen als Professor an seine Heimatuniversität im Libanon berufen. Auch die beiden ersten Programm-Manager Christian Bettstetter und João Barros sind heute Professoren in Klagenfurt bzw. Porto.

Einige der Absolventen nutzen ihren TUM-Abschluss aber auch als Zugang zu anderen Spitzenuniversitäten in Europa und den USA, z. B. Stanford, Princeton, Texas A&M, Alberta und Notre Dame. Oft promovieren sie bei den im MSCE-Programm erlebten Gastdozenten.

Das MSCE-Programm war das erste seiner Art in Bayern und in seiner speziellen Struktur vielleicht sogar in Deutschland. In vielen Vorträgen wurden unsere Erfahrungen an andere Fakultäten der TUM, an andere Hochschulen und an den DAAD weitergegeben. Für mich als erstem Programmdirektor waren die vielfältigen Begegnungen mit Studierenden aus über 50 verschiedenen



Nationen, die wissenschaftlichen Kontakte mit den Gastdozenten, das vorbildliche Engagement der Sekretärinnen und Programmassistenten sowie der Enthusiasmus und die Einsatzbereitschaft meiner Kollegen aus der eigenen Fakultät eine der schönsten Erfahrungen während meiner Zeit am LNT und der TUM.

Abschließend sollen noch einige Statistikzahlen genannt werden:

- Durch den guten Ruf des MSCE-Programms haben wir jährlich zwischen 500 und 700 Bewerbungen, von denen nur 10% das Aufnahmeverfahren erfolgreich durchlaufen. Da unsere besten Bewerber und Bewerberinnen über unsere Alumni rekrutiert werden, spiegelt sich darin auch der Studienerfolg.
- Im Studienjahr 2007/08 waren an der MSCE-Lehre 19 Professoren und ca. 35 wissenschaftliche Mitarbeiter(innen) aus der Fakultät, drei ausländische Gastdozenten sowie neun Lehrbeauftragte beteiligt. Dem stehen 75 Studierende in beiden Jahrgängen gegenüber.
- Somit ergibt sich ein Betreuungsverhältnis von etwa 1:1. Dem in den Ingenieurwissenschaften bekannte Phänomen des „Drop-outs“ während laufender Programme – gerade von ausländischen Studierenden – konnte bislang durch diese Betreuungsverhältnis sehr gut entgegen gewirkt werden.
- Unser stolzestes Ergebnis ist aber, dass über 95% der Anfänger den „Master of Science in Communications Engineering“ innerhalb der Regelstudienzeit von zwei Jahren erfolgreich abschließen.

10

Internationale Beziehungen

10.1 Austauschprogramme

Klaus Eichin

In the following we present various cooperation projects with universities from abroad. The European Union's sponsorship programmes, NEWCOM and CITPER, which were already launched in 2004 have been completed in the meantime. The successor programmes, NEWCOM++ and N-CRAVE started at the beginning of 2008 and will be available for a number of years. In addition we report about the student exchange program SOKRATES and LNT's co-operation with the German Chinese University College (CDHK).

In diesem Kapitel werden Kooperationen zwischen dem LNT und ausländischen Partneruniversitäten beschrieben. So wurden die Aktivitäten seitens des LNT in den von der Europäischen Union geförderten Projekten NEWCOM und CITPER im Berichtszeitraum fortgesetzt. Beide Projekte sind inzwischen beendet. Neu begonnen wurden dafür zum 01.01. 2008 mit NEWCOM++ und N-CRAVE zwei ebenfalls von der EU geförderte Projekte.

Ebenfalls weitergeführt wurde der durch SOKRATES seit den 1990er Jahren geförderte Studentenaustausch in Europa, ebenso wie der Kontakt zum Chinesisch-Deutschen Hochschulkolleg (CDHK). Dieses wurde 1998 als Kooperationsprojekt der Universität Shanghai und des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) gegründet.

NEWCOM

Network of Excellence in Wireless Communications war ein seit März 2004 durch die Kommission der Europäischen Union gefördertes Projekt, an dem 61 europäische Partner aus Industrie und Universitäten teilnahmen. Das übergeordnete Thema lautete: „Drahtlose Kommunikationssysteme nach 3G“. Dieses Projekt wurde im Februar 2007 nach drei Jahren Förderung beendet. Für den LNT-Part liegt die Audit-Zertifizierung vor.

Der LNT konnte zum Erfolg des NEWCOM-Projekts mit vielen wissenschaftlichen Beiträgen und durch Forschungsaufenthalte bei den Partnern beitragen.

NEWCOM++

Im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU wird das Exzellenznetzwerk unter dem Namen NEWCOM++ fortgeführt, jedoch mit der reduzierten Anzahl von nur 17 europäischen Universitäten als Projektteilnehmer. Die Fokussierung liegt auf einer vertieften Integration der Forschungstätigkeiten zu fundamentalen interdisziplinären Themen aus dem Gebiet drahtloser Netzwerke. Besonderes Gewicht wird neben der Kooperation auf Austausch und Veröffentlichung der Forschungsergebnisse gelegt. Die Aktivitäten sollen ausgewertet und in einem Leistungsprotokoll dokumentiert werden. Siehe auch Bericht auf S. 66.

10.1 Austauschprogramme

10.2 Forschungsaufenthalte von Angehörigen des LNT

10.3 Vorträge von Gästen

Der LNT ist forschungsmäßig in mehrere *Research Work Packages* (WPR) eingebunden. Das Kick-Off-Meeting zum WPR.5, bei dem der LNT federführend ist, fand im Februar 2008 in München statt (siehe Bericht im Kapitel 9.3).

N-CRAVE

Auch dieses Forschungsprojekt mit dem Thema „Network Coding for Robust Architectures in Volatile Environments“ wird durch die Europäische Union gefördert. Beteiligt sind sieben Partner aus der Industrie und von Hochschulen. Es soll die Machbarkeit und die Leistungsfähigkeit des Einsatzes der Netzcodierung untersucht und im praktischen Versuch dargestellt werden.

Der LNT ist thematisch intensiv in das Work Package „Foundational Aspects of Network Coding“ eingebunden und hat im Juli 2008 ein diesbezügliches N-CRAVE-Treffen ausgerichtet (siehe Kapitel 9.5).

CITPER (TEMPUS)

Ziel dieses von der EU geförderten Projekts „Collaborative IT Program for Education and Research“ war, einen Graduiertenstudiengang an der American University of Beirut (AUB) aufzubauen. Der LNT fungierte dabei als sog. Granthalter, weitere Projektteilnehmer waren die englische University of Southampton und die Siemens AG. Im Januar 2008 wurde der Studiengang unter Beisein des deutschen Botschafters feierlich eröffnet. Damit ist dieses Projekt abgeschlossen.

SOKRATES-Studentenaustausch

SOKRATES/ERASMUS ist das bewährte Förderprogramm für den Studentenaustausch innerhalb der Europäischen Union. Der LNT pflegt hierbei den Kontakt mit der *ENST de Bretagne* in Brest, die seit 2008 unter *Telecom Bretagne* firmiert. Mit dieser renommierten Grand École gibt es dazu seit 1998 ein Doppel-diplomabkommen.

Im Berichtszeitraum wurde der Austausch weiter intensiv genutzt. Wieder fanden allein 13 Studierende der Telecom Bretagne den Weg zu

uns, davon vier Doppeldiplomkandidaten. Im Gegenzug konnten wir die TUM-Studenten Daniel Dieterle, Christian Schultz und Franziska Hubert als Doppeldiplomkandidaten an die Telecom Bretagne entsenden.

Der LNT war im April 2008 auch Anlaufstation für eine Studentengruppe aus Brest (siehe Abbildung). Diese „TeleCompagnons“ sollten im Rahmen ihrer Ingenieurausbildung Forschungseinrichtungen, Institutionen und Firmen in einem Parcour durch Europa besuchen. Dieses die Gruppenarbeit befördernde Projekt beinhaltete als weitere Herausforderung, Erfahrungen mit dem sog. M-Learning zu sammeln, d. h. die Studierenden blieben dem Lehrbetrieb der Telecom Bretagne durch „Mobile Devices“ verbunden.

Doppelmaster CDHK-TUM

Seit 1998 lesen LNT-Professoren am Chinesisch-Deutschen Hochschulkolleg (CDHK) an der Tongji-Universität in Shanghai. Im März 2007 hielten Prof. Hanik und Bernhard Göbel die deutsche Vorlesung *Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik* nebst Übung, ein Jahr später folgten Prof. Söder und Stephan Hellerbrand mit einer ähnlichen Lehrveranstaltung.

Im Berichtszeitraum haben zudem vier Studierende aus China – Rui Wang, Mingjen Chen, Jian Chang, Shan Xia – ihre Master Thesis am LNT ausgeführt und damit gleichzeitig den Abschluss der Tongji-Universität und den Mastergrad der TU München für das Fach *Electrical Engineering* erworben.



Studenten aus Brest mit Prof. Kötter und Dr. Eichin vor der Historienwand am LNT

10.2 Forschungsaufenthalte von Angehörigen des LNT

Janis Dingel, Hrvoje Jenkač, Johanna Weindl und Günter Söder

Three of our research assistants took part in academic visits to various international universities or research institutes. The places visited were Digital Fountain in California, the University of Illinois at Urbana-Champaign, and the University of Haifa, Israel. Moreover, professors and assistants visited institutes and meetings, most of them in Europe, China, and the United States.

Es folgen drei Berichte von Mitarbeitern über Auslandsaufenthalte:

- Hrvoje Jenkač war von Juli bis Oktober 2006 bei *Digital Fountain* in Fremont, Kalifornien, und arbeitete eng mit Dr. Luby, dem Erfinder der Fountain-Codes, zusammen.
- Janis Dingel arbeitete im Herbst 2007 für drei Monate bei Prof. Olgica Milenkovic am Coordinated Science Lab der *University of Illi-*

nois zum Thema Modellierung und Inferenz von Gennetzwerken.

- Johanna Weindl forschte im Sommer 2008 für zwei Monaten an der *University Haifa* gemeinsam mit Prof. Bolshoy über Periodizitäten in genischen Bereichen des Bakteriums *Escherichia coli*.

Dazu gab es viele Reisen zu Tagungen und Gremienarbeit, vorwiegend in Europa, China und den USA.

In June 2006 I conducted a four month internship at the company *Digital Fountain* in Fremont, California, which is located in the San Francisco Bay Area. I have been working with the Research and Development Team under the guidance of Dr. Michael Luby.

Right at my arrival, a new project has been initiated and I got assigned interesting and challenging working duties. In particular, I had the great possibility to apply my theoretical knowledge in the area of multimedia transmission in a practical environment. I have been involved in both conceptional design and in practical implementation, with the focus on the interaction between different system layers and protocols.

Besides the project work, in the weekends I also had the great opportunity to explore a lot of nice places in California, e.g. Napa Valley, Yosemite, LA and San Diego. Overall, my visit to the US was a great experience and a full success.

Durch mein Forschungsthema, das auch das Gebiet der Fontänen-codes (engl.: Fountain Codes) beinhaltet, bin ich schon vor Jahren auf deren Begründer Dr. Michael Luby und die Firma Digital Fountain in den USA aufmerksam geworden. Glücklicherweise hatte mein langjähriger Kollege am LNT und späterer Projektpartner bei der Siemens AG und BenQ, Thomas Stockhammer, in der Zwischenzeit eine enge Zusammenarbeit mit Digital Fountain etabliert und konnte den Erstkontakt zu Dr. Luby herstellen. Bald, nachdem ich meinen Lebenslauf und die Veröffentlichungsliste zugesandt hatte, kam im Januar 2006 die Zusage für einen Gastaufenthalt. Für mich stand ohne lange Überlegung sofort fest, dass ich das Angebot annehmen werde.

Danach begann eine lange Zeit organisatorischer Vorarbeiten. Zunächst galt es, ein USA-Visum zu erwerben, was mit vielen bürokratischen Hindernissen verbunden war. Demzufolge musste zum Leidwesen aller Beteiligten auch der Beginn des

viermonatigen Forschungsaufenthaltes iterativ nach hinten verschoben werden.

Im Juni 2006 konnte die Reise dann endgültig beginnen. Das Headquarter von Digital Fountain befinden sich in Fremont, im Osten der Bucht von San Francisco liegend. Am ersten Arbeitstag wurde ich bereits von den Kollegen mit einem bestens eingerichteten Arbeitsplatz in einem für die USA typischen Großraumbüro erwartet. Dort wurde ich den Kollegen vorgestellt und schließlich dem *Team Research and Development* unter der Leitung von Dr. Luby zugeordnet.

Die ersten Tage meines Aufenthalts verbrachte ich im Hotel. Die Suche nach einer passenden Bleibe für die nächsten Monate gestaltete sich jedoch deutlich schwieriger als erwartet. Zwar hatte ich im Vorfeld Termine mit potenziellen Vermietern vereinbart, vor Ort entsprach jedoch keines der Gemächer dem vorab zugesandten Exposé. Nach etwa einwöchiger Suche und unzähligen Inseraten und Besichtigungen, fand ich aber doch noch ein nettes Häuschen mit Garten, jedoch unter Inkaufnahme einer täglich einstündigen Anreise zur Arbeitsstätte.

Schon innerhalb der ersten Woche stellte sich heraus, welche spezifischen Aufgaben ich innerhalb eines gerade anlaufenden Projektes übernehmen sollte. Alle Kollegen waren überaus freundlich und hilfsbereit, so dass ich mich schnell einarbeiten konnte. Das Team war fachlich äußerst kompetent und überaus motiviert. Die Aufgaben waren sehr spannend und ich hatte vor allem die Gelegenheit, mein bisher theoretisches Wissen auf dem Gebiet der Multimedia-Übertragung in die Praxis umzusetzen.

Im Vordergrund standen sowohl konzeptionelle Arbeiten wie auch praktische Implementierungsaspekte, die beim Zusammenfügen einzelner Komponenten und Protokolle auf unterschiedlichen Systemschichten einzuhalten sind.

Digital Fountain bietet ihren Mitarbeitern nicht nur fachlich optimale

Arbeitsbedingungen. Neben einem in Kalifornien unverzichtbaren vollklimatisierten Bürogebäude steht den Mitarbeitern eine großzügige Küche zur Verfügung. Dort finden sich jede Menge kleiner Snacks und ein prall gefüllter Kühlschrank mit Erfrischungen aller Art. Oft trifft man sich dort zur Happy Hour, um über aktuelle Aktivitäten zu diskutieren.

Freizeitaktivitäten sollten bei meinem Kalifornien-Aufenthalt natürlich nicht zu kurz kommen. Neben dem Kennenlernen der amerikanischen Kultur – darunter Barbecue und Fahren großer Autos – hatte ich Gelegenheit, San Francisco und dessen nähere Umgebung ausgiebig zu erkunden. Eine Weinverkostung im weltbekannten Weinanbaugebiet Napa Valley bot sich da genauso an, wie ein ehrfürchtiger Besuch der Baumriesen in den Muir Woods, die als höchste Baumart der Erde gelten und mehrere Hundert Jahre alt sind. Ein Abstecher zum Yosemite-Nationalpark mit seiner berühmten Steilwand El Capitan durfte natürlich nicht fehlen. Und was wäre Kalifornien ohne ein Wochenende in LA, Hollywood, Beverly Hills, und dem Strand von Santa Monica. Nicht minder hat sich die lange Autofahrt nach San Diego gelohnt, mit den berühmten Surfer-Pilgerstätten La Jolla und Pacific Beach.

Insgesamt hat mir der Aufenthalt sehr viel Spaß gemacht und ich war von der gelassenen Lebensweise der Kalifornier sehr beeindruckt. Ich kann allen Doktoranden einen solchen Forschungsaufenthalt im Ausland nur wärmstens empfehlen. An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Hagenauer für die Förderung und Ermöglichung des Gastaufenthalts und bei Tom Stockhammer für die Vermittlung herzlich bedanken.

In autumn 2007, I spent three months as a DAAD scholar at the Coordinated Science Lab (CSL) at the University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC) as a visiting researcher. The CSL is a multidisciplinary research laboratory that focuses on information technology at the crossroads of computing, control and communications.

Joint work was performed with Prof. Olga Milenkovic, who recently joined faculty at the interface of coding theory and bioinformatics. New algorithms for the reverse engineering of gene networks under algebraic models were developed. In detail, list-decoding of Reed-Muller codes was used to approximate polynomials over finite fields based on microarray gene expression data, addressing noisy measurements and small sample size issues.

Im Herbst 2007 besuchte ich im Rahmen eines DAAD-Stipendiums die University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC), eine der besten Universitäten der USA. Diese Universität mit einer der größten Bibliotheken des Landes wurde 1867 gegründet, nachdem 1862 jedem Bundesstaat der Vereinigten Staaten das Recht eingeräumt worden war, auf einem Stück Land eine Universität der öffentlichen Hand zu errichten.

Wie viele andere zu dieser Zeit gegründeten Universitäten in den USA liegt auch die UIUC in ländlichem Gebiet abseits einer großen Stadt – Chicago ist etwa 200 km entfernt. Die beiden Städte Urbana und Champaign umschließen den Campus, und die Universität stellt mit ihren über 50.000 Studenten und Mitarbeitern den Hauptwirtschaftsfaktor der Region dar.

Janis Dingel über seinen Forschungsaufenthalt in Illinois

Die UIUC wird in den Ingenieurwissenschaften zu den fünf besten Hochschulen gezählt. Sie besitzt aber auch hervorragende Fakultäten der Informatik und der Chemie. Unter den Alumni und Fakultätsmitgliedern befinden sich 22 Nobelpreisträger, Gründer von Unternehmen wie z. B. AMD, Oracle, YouTube und Delta Airlines sowie die Erfinder der LED, des Plasma-Bildschirms und von *Magnetic Resonance Imaging*. Außerdem besitzt die UIUC sehr gute Football- und Basketballteams.

Während meines dreimonatigen Aufenthaltes arbeitete ich in der Gruppe von Prof. Milenkovic am *Coordinated Science Laboratory*, einem auf Informationstechnologie fokussiertes multidisziplinäres Forschungszentrum. In der *Communications Group* arbeiten 13 Professoren, die jeweils zahlreiche Doktoranden und Postdoktoranden betreuen. Ein wesentlicher Unterschied zum deutschen System ist, dass Doktoranden keine Administrations- und Lehrverpflichtungen (Vorlesungsbetreuung, Betreuung von Masterarbeiten, etc.) haben. Diese Aufgaben werden ausschließlich von den Professoren und Postdoktoranden übernommen.

Innerhalb der Seminarreihen des Instituts mit internationalen Gastrednern haben die Doktoranden die Möglichkeit der Weiterbildung. Überhaupt bietet die durch den kompakten Campus gegebene räumliche Nähe der Institute und Fakultäten in dieser Hinsicht bessere Möglichkeiten als die TUM mit ihrer zersplitterten Campusaufteilung. So konnte ich fast jede Woche die Vortragsreihe der Bioinformatiker in der Computer Science Fakultät und das Seminar der Statistiker besuchen, das meist Anwendungen auf die Genetik zum Thema hatte.

Prof. Milenkovic beschäftigt sich mit algebraischer Codierungstheorie und der Analyse von Algorithmen. Sie interessiert sich vor allem für die Anwendung informations- und codierungstheoretischer Methoden in der Bioinformatik. Der Kontakt zwischen unserer ComInGen-Gruppe und Prof. Milenkovic ergab sich bei

einem ihrer Vorträge bei Prof. Huber an der Universität Erlangen und anschließenden Treffen auf internationalen Konferenzen. Sie war gerade erst von der University of Boulder Colorado an die UIUC als *Assistant Professor* gewechselt. Die Gruppe befand sich daher noch im Aufbau und bestand zu dieser Zeit nur aus dem Postdoktoranden Dr. Wei Dai und mir. Für mein Forschungsvorhaben, der Modellierung und Inferenz von Gennetzwerken, war dies vorteilhaft, da dadurch eine sehr intensive Zusammenarbeit ermöglicht wurde.

Wir haben uns auf die Beschreibung der Dynamik von Netzwerken mittels algebraischer Modelle konzentriert und konnten bestehende Ansätze zur Rekonstruktion solcher Modelle unter Berücksichtigung der Annahme fehlerhafter Daten erweitern. Wir haben gezeigt, dass sich das ergebende Rekonstruktionsproblem mit Algorithmen aus der Codierungstheorie analysieren und lösen lässt. Schließlich konnten wir das Prinzip anhand von Simulationen und der Anwendung auf kürzlich veröffentlichte Gendaten nachweisen.

Neben den ausgezeichneten Bedingungen für fachliche Kooperation bietet die UIUC aber auch vorzügliche Möglichkeiten, sich sportlich zu betätigen oder dem sportlichen Wettkampf anderer als Zuschauer beizuwohnen. Die Spiele des Footballteams werden allgemein als Highlights betrachtet und entsprechend zelebriert. Die Nähe zu Chicago, das nicht nur architektonisch sehr viel zu bieten hat, ermöglicht lohnende Tagesausflüge.

Nach meiner Rückkehr stehe ich weiterhin mit Prof. Milenkovic im regen wissenschaftlichen Austausch. Im Mai besuchte sie unsere Gruppe für eine Woche. Insgesamt kann ich sagen, dass sich der Aufenthalt auf meine Forschung sehr positiv ausgewirkt hat, und ich sehr viele neue Eindrücke und Erfahrungen gewinnen konnte – besonders auch auf nichtfachlicher Ebene.

Ich danke dem DAAD für die teilweise Finanzierung meines Forschungsaufenthalts.

In summer 2008, I spent two months at the Institute of Evolution of the University of Haifa as a visiting researcher. The Genome Diversity Center of the institute works on bio-informatics and the application of information theory in DNA sequence analysis.

Joint work was performed with Prof. Alexander Bolshoy in the area of detecting periodicities in bacterial genomes using mutual information and Fourier analysis. New results were achieved by subdividing the genomes into functional areas. In detail, yet unknown periodicities were found in the promoter region which regulates the amount of protein synthesis of the respective gene. These periodicities in the promoter region are expected to influence the exact shape of the DNA double helix in order to facilitate the binding of proteins. The method was first applied to the well-studied bacteria *Escherichia coli* and later extended to other bacterial species.

My stay did not only give me the opportunity to establish a research collaboration with the Genome Diversity Center, but it also allowed me to discover a fascinating country full of religious and historical sites.

Im Sommer 2008 besuchte ich als Gastwissenschaftlerin die Universität in der israelischen Hafenstadt Haifa. Die Universität thront auf dem Kamm des Karmelberges 600 Meter hoch über der Innenstadt und bietet spektakuläre Blicke über das Mittelmeer und den angrenzenden Libanon. Ich hatte das Glück, ein Zimmer in den Studentenwohnheimen der Universität zu bekommen. Dies bescherte mir nicht nur einen kurzen Weg zu meinem Arbeitsplatz, sondern auch einen guten Einblick in die lokale Kultur durch Gespräche mit meinen fünf israelischen Mitbewohnerinnen.

Während meines zweimonatigen Aufenthalts war ich am *Genome Diversity Center* des *Institute of Evolution*, das sich sowohl mit experimenteller Biologie als auch mit Bioinformatik beschäftigt. Die Kern-

kompetenzen des *Genome Diversity Center* sind insbesondere die Anwendung von informationstheoretischen Methoden auf Genome von Bakterien und höheren Organismen. Personell umfasst das Institut zwei Professoren, zwei Postdoktoranden und fünf Doktoranden. Des Weiteren forschen einige Studenten unter der Betreuung einer der Professoren für ihre Masterarbeiten.

Zunächst habe ich mit Prof. Alexander Bolshoy gemeinsame Untersuchungen von Periodizitäten in genischen Bereichen des Bakteriums *Escherichia coli* durchgeführt. Diese Periodizitäten wurden durch Transinformation und anschließender Fourieranalyse detektiert und letztendlich in Bezug auf ihre biologische Funktionalität interpretiert. Anschließend wurde die Methode auf weitere bakterielle Spezies und weitere funktionale Bereiche der DNA erweitert, z. B. die Promotoren, die als biologisches Synchronisationswort den Beginn der Gene markieren. In der Promotorumgebung wurden bislang unbekannte Periodizitäten gefunden, die die wichtige Rolle dieses Bereichs für die Proteinsynthese (Genexpression) unterstreichen. So wird angenommen, dass die Bindung von Proteinen an die DNA gewissen Periodizitäten unterliegt, die sich auf die exakte Form der Doppelhelixstruktur auswirken.

Neben den ausgezeichneten Möglichkeiten zur fachlichen Kooperation bietet Israel zahlreiche Sehenswürdigkeiten. Aus Haifa gut erreichbar ist der gesamte Norden Israels mit den Wirkungsstätten Jesu rund um den See Genezareth. Äußerst reizvoll sind zudem die politisch umstrittenen Golanhöhen im Nordosten Israels an der Grenze zu Syrien, die sich insbesondere durch Weinanbau und eine unberührte Natur bei ausländischen und israelischen Touristen großer Beliebtheit erfreuen. Als besonders faszinierend empfand ich außerdem die Diversität der Städte in Israel: Während Jerusalem spürbar das religiöse Zentrum sowohl der Araber als auch der Juden ist, erlebt man Tel Aviv als moderne, säkulare Stadt mit einem

überwältigenden Angebot an Restaurants und kulturellen Stätten. Haifa selbst gilt als Beispiel für ein friedliches Zusammenleben von arabischen, jüdischen und christlichen Israelis. Zusätzlich ist es das spirituelle Zentrum des Bahai-Glaubens, die nach ihrer Vertreibung aus dem Iran den Hang des Karmelberges für ihre wunderschönen Gärten um den Schrein des Religionsstifters Bab wählten.

Das erwähnte Zusammenleben von arabischen und jüdischen Israelis in Haifa ist leider im Rest des Landes kaum der Fall. So wohnen arabische Juden in eigenen Dörfern und Städten und leisten in der israelischen Armee keinen Militärdienst. Einzig die Religionsgemeinschaft der Druzen – gegründet im Jahr 1010 von shiitischen Ägyptern – ist merklich integriert und genießt hohes Ansehen in der jüdischen Bevölkerung.

Die Sicherheitslage habe ich während meines Aufenthalts als sehr stabil empfunden. So habe ich mich in keinem Moment meines Aufenthalts bedroht gefühlt. Darüberhinaus war ich erstaunt, wie schnell man sich an die ständigen Sicherheitskontrollen – am Eingang zu Bahnhöfen, an jedem Einkaufszentrum, etc. – gewöhnt.

Zusammenfassend kann ich sagen, dass mein Aufenthalt in Israel nicht nur fachlich wertvoll war, sondern mir auch den gesamten Nahen Osten nähergebracht hat. Nach meinen Reisen in den Libanon in den letzten Jahren hat er mir die andere Seite des Konflikts gezeigt und ein besseres Verständnis für das außenpolitische Handeln Israels vermittelt. Ich hoffe darüberhinaus, dass auch ich im Gegenzug einigen Israelis durch meine Berichte und Fotos des Libanon ein realistischeres Bild vermitteln konnte.

Nebenstehend sind diejenigen 16 Vorträge von Besuchern des Lehrstuhls für Nachrichtentechnik zusammengestellt, die nicht im Rahmen der in anderen Kapiteln aufgeführten Seminare (Kapitel 3.5 und 3.6) oder bei einer der in Kap. 9 dargelegten Veranstaltungen gehalten wurden.

10.3 Vorträge von Gästen

- 05.02.2007 Prof. João Barros, Universidade do Porto, Portugal:
Information-Theoretic Security in Wireless Networks: From Theory to Practice
- 16.02.2007 Salim El Rouayheb, Texas A&M University, TX, USA:
Designing Failure-Tolerant Network Codes
- 28.02.2007 Dr. Jeppe Kristensen, Technical University of Denmark, Lyngby:
Iterative List Decoding of Projective Geometry LDPC Codes
- 21.03.2007 Prof. Raymond Yeung, University of Hong Kong, China:
Reliable Communication in the Absence of a Common Clock
- 17.04.2007 Prof. Raymond Yeung, University of Hong Kong, China:
Network Error Correction
- 12.07.2007 Dipl.-Ing. Tobias Oechtering, TU Berlin:
Spectrally Efficient Bidirectional Decode-and-Forward Relaying for Wireless Networks
- 10.07.2007 Prof. Michelle Effros, California Institute of Technology, USA:
Network Source Coding: Pipe Dream or Promise?
- 11.07.2007 Prof. Muriel Médard, Massachusetts Institut of Technology, USA:
Network Coding - An Optimization View
- 19.11.2007 Dr. Desmond Lun, The Broad Institute of MIT and Harvard Cambridge, MA, USA:
Analytical Design of Synthetic Microbes
- 30.11.2007 Prof. João Barros, Universidade do Porto, Portugal:
Beauty and the Beast - Random Graphs and Realistic Simulation of Large-Scale Dynamic Networks
- 20.02.2008 Dr. Pascal O. Vontobel, Hewlett-Packard Laboratories, USA:
A Factor-Graph Approach to Universal Channel Decoding
- 30.04.2008 Parastoo Sadeghi, PhD, Australian National University, Canberra, Australia:
An Information Theoretic Viewpoint to Optimal Modelling of Communication Channels with Memory
- 30.06.2008 Prof. Venu Veeravalli, University of Illinois, USA:
Understanding and Managing Interference in Wireless Networks
- 28.07.2008 Prof. Gordon Cheng, Media Integration and Communications Research Labs, Kyoto, Japan:
On the Realisation of Integrated Cognitive Systems
- 07.08.2008 Rachit Agarwal, University College Cork, Ireland:
Combinatorics for Decoding of Codes in Finite-Field Grassmannian Beyond Half the Minimum Distance
- 12.09.2008 Dr. Gerhard Kramer, Bell Labs, Alcatel-Lucent, USA:
Recent Results on Gaussian Interference Channel Capacity

Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation

Christoph Günther



The Institute of Communication and Navigation was founded in December 2004. It is offering lectures in Satellite Navigation, Differential Navigation and Terrestrial Navigation, and a Satellite Navigation Laboratory. The focus in research currently is on navigation for safety critical applications. Breakthroughs were reached in the use of carrier measurements for precise and reliable positioning and in the robust tracking of carrier phase signals. The integration with inertial sensors is another area of work, which promises significant improvements in service continuity.

Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation (NAV) besteht nun bereits seit fast vier Jahren. Verwaltungstechnisch wird er dem Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) zugerechnet und nutzt dessen Infrastruktur. An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Kötter und seinem Vorgänger, Herrn Professor Hagenauer, für die Gastfreundschaft an ihrem Lehrstuhl danken.

Derzeit beschäftigt unser Lehrstuhl drei Mitarbeiter, *Patrick Henkel* und *Sebastian Graf* seit 2005 sowie *Kaspar Giger* seit September 2007. Die zwei zuletzt genannten werden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) finanziert, mit dem wir sehr eng kooperieren und dessen gleichnamiges Institut ich ebenfalls leite.

Dipl.-Ing. **Kaspar Giger**, 1982 in Binningen in der Schweiz geboren,



studierte ab Herbst 2001 an der ETH Zürich Elektrotechnik und Informationstechnologie mit dem Schwerpunkt Kommunikationstechnik und Signalverarbeitung. Im Oktober 2006 beendete er sein Studium mit einer Diplomarbeit über die Implementierung und Optimierung eines Video-Encoders auf einer TI-DSP-Plattform erfolgreich.

Seit September 2007 ist Kaspar Giger wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation im Rahmen des Forschungsprojekts P-LAGAL und beschäftigt sich mit der robusten Phasenmessung bei satellitenbasierten Navigationssystemen.

Lehre

Von unserem Lehrstuhl wurden im Berichtszeitraum zwei Vorlesungen und ein Praktikum angeboten, sowie ein Kolloquium organisiert.

Die Vorlesung *Satellite Navigation* ist eine englischsprachige Grundlagenvorlesung und hat sich in den Masterprogrammen der Fakultäten für Elektrotechnik und Informationstechnik, Bauingenieur- und Vermessungswesen sowie Maschinenbau etabliert. Weiter wird sie von einzelnen Studenten der Physik und der Mathematik besucht.

Die Vorlesung *Differential Navigation* erklärt diejenigen Verfahren, die zur hochgenauen und zur sicherheitskritischen Navigation eingesetzt werden, zum Beispiel bei der Landung von Flugzeugen.

Im Praktikum *Satellite Navigation Laboratory* bauen die Studenten über mehrere Versuchstermine hinweg ihren eigenen Software-Empfänger. Ich danke den studentischen Hilfskräften Todor Makshelov und Chen Tang (CGI), die uns beim Aufbau des Praktikums unterstützt haben.

Im Sommersemester 2008 fand schließlich erstmals das *Kolloquium Satellitennavigation* statt. Es wurde gemeinsam mit anderen Lehrstühlen der TU München und der Universität der Bundeswehr unter unserer Federführung ausgerichtet. Unsere Intention ist es, die Beziehungen zwischen den Forschergruppen im Raum München zu stärken. Dieses Kolloquium erfreut sich zunehmender Beliebtheit und soll zu einer ständigen Veranstaltung werden.

Ab dem Wintersemester 2008/2009 wird die neu angebotene Vorlesung *Terrestrische Navigation* von Dr.-Ing. habil. Michael Meurer das Lehrangebot zum Gebiet der Navigation weiter abrunden.

Forschung

Die Festlegung auf das Arbeitsgebiet „Navigation für sicherheitskritische Anwendungen“ hat sich als glückliche Wahl erwiesen. Sehr aktuell sind

dabei die Anwendungen im Bereich der Luftfahrt. Hier werden zurzeit die ersten Systeme für Anflugverfahren der Kategorie CAT I zertifiziert. Außerdem wird in den USA bereits intensiv an einer Erweiterung auf CAT III gearbeitet.

In Europa nimmt das DLR auf diesem Gebiet – aber auch im maritimen Bereich – eine zentrale Rolle ein. Der Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation hat über den Partner DLR Zugang zu Messdaten von den Forschungsflughäfen in Braunschweig und Oberpfaffenhofen sowie dem maritimen Forschungshafen Rostock.

Die bisherigen Erfolge in der Forschung lagen im algorithmischen Bereich. Es ist uns gelungen, Trägerphasenverfahren mit einer sehr sicheren Schätzung der Mehrdeutigkeiten zu entwickeln. Solche Mehrdeutigkeiten entstehen durch die Periodizität sinusförmiger Trägerschwingungen. Deren zuverlässige Schätzung wurde bisher als schwer überbrückbares Hindernis für sicherheitskritische Anwendungen betrachtet. Deshalb wurden die sehr viel genaueren Trägerphasenschätzungen meist nur im Vermessungswesen eingesetzt.

Der Durchbruch gelang, indem Linearkombinationen von Trägerphasen- und Codemessungen auf unterschiedlichen Trägerfrequenzen gebildet wurden. Damit wurde es möglich, Variablen zu konstruieren, die eine große Wellenlänge besitzen, von der Ionosphäre befreit und zudem noch wenig verrauscht sind. Diese Ergebnisse lassen sich auch im Bereich von „Precise Point Positioning“, also der submetergenauen absoluten Positionierung, einsetzen. Arbeiten aus dem sicherheitskritischen Bereich sind im Beitrag von P. Henkel und C. Günther beschrieben.

Der oben aufgezeigte Ansatz verlangt, dass Messungen auf mehreren Trägerfrequenzen kontinuierlich verfügbar sind, besonders auch im Fall von ionosphärischen Szintillationen. Dazu benötigt man robuste Phasensignalschleifen, was mit einem neuen Ansatz erreicht werden konnte. Dieser wertet gleichzeitig Messungen verschiedener Satelliten auf verschiedenen Frequenzen aus. Er eliminiert die Ionosphäre, schätzt Position, Zeitfehler und Troposphärenfehler einzeln, filtert diese in einer dem jeweiligen Prozess entsprechenden Weise, um daraus die Sollphase zu schätzen. Eine genauere Beschreibung dieses Arbeitsgebietes finden Sie im Beitrag von K. Giger, P. Henkel und C. Günther.

Die Satellitennavigation stößt an ihre Grenzen, wenn sehr schwache Signale massiv durch beabsichtigte oder unbeabsichtigte Störer aus dem Dynamikbereich des Empfängers verdrängt werden. Eine Option, die Kontinuität der Lösung in solchen Fällen sicherzustellen, besteht in der Verwendung kostengünstiger Trägernavigationskomponenten. In sicherheitskritischen Bereichen muss dabei das gleiche Integritätsniveau aufrechterhalten bleiben. Erste Ansätze hierzu werden derzeit untersucht. Näheres hierzu finden Sie im Beitrag von S. Graf und C. Günther. Wir verweisen auch auf die Publikationsliste auf den nächsten Seiten.

Forschungsprojekte

Die Arbeiten zur hochgenauen und zuverlässigen Positionierung mit Trägerphasenmessungen werden etwa zur Hälfte durch das von der Deutschen Raumfahrtagentur finanzierte Projekt *Präzisionslande-anflug mit Galileo* (P-LAGAL) ermöglicht. Dieses Projekt wird zusammen mit der Deutschen Flugsicherung (DFS) unter unserer Leitung durchgeführt. Wir haben in diesem Projekt, insbesondere für Galileo, neue Mehrfrequenz-Linearkombinationen, Codeglättungs- und Phasentrackingverfahren, entwickelt, durch die die Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitsschätzung erheblich verbessert wurde. Einzelne Algorithmen werden in Kürze zusammen mit der Flight Cali-

bration Services GmbH, Braunschweig, und der DFS in einem Flugversuch erprobt. Dazu wurden zwei Navigationsempfänger der Firmen Javad und Septentrio angeschafft, welche die Galileo-Signale auf den beiden Frequenzen E1 und E5a empfangen können.

Forschungsaufenthalt

Im Herbst 2007 war Patrick Henkel für fünf Wochen am *Department of Earth Observation and Space Systems* der TU Delft, das für Arbeiten im Bereich der Trägerphasenschätzung weltweit bekannt ist. Die ursprüngliche Anwendung war auf differenzielle Messungen über kurze Distanzen von wenigen Kilometern ausgelegt. P. Henkel hat eine Erweiterung auf ionosphärenfreie Mehrfrequenz-Linearkombinationen entwickelt und die Troposphärenfehlerschätzung mit einbezogen. Damit wird eine sehr zuverlässige Mehrdeutigkeitsschätzung auch über Entfernungen von mehreren Hundert Kilometern innerhalb weniger Sekunden erreicht.

Preis

Patrick Henkel erhielt im Jahr 2007 die Goldmedaille *Pierre Contensou* der International Astronautical Federation (IAF). Diese wird in einem zweistufigen Verfahren vergeben, das die besten Studenten eines nationalen Wettbewerbs in einem zweiten Wettbewerb international zusammenbringt. Es sind Studenten aller Fachgebiete der Raumfahrt vertreten. Wir gratulieren ganz herzlich.

ESEO und ESMO

Der NAV-Lehrstuhl beheimatet die bei den Teams der TU München für den *European Student Earth Orbiter* (ESEO) und den *European Student Moon Orbiter* (ESMO). Im ESEO-Projekt ist das Team für die Bodenstation zuständig, im ESMO-Projekt für die Kommunikation auf dem Satelliten. Außerdem sind erste Ideen für die Vernetzung verschiedener Satelliten am Mond auf große Resonanz gestoßen. Die European Space Agency (ESA) ist zurzeit damit befasst, die übergeordnete Organisation neu zu strukturieren.

Publikationen in Zeitschriften und Konferenzbänden

Henkel, P.: Doping of Extended Mappings for Signal Shaping. – In: *Proc. of 65th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Dublin, Ireland, May 2007

Henkel, P.: Geometry-Free Linear Combinations for Galileo. – In: *Proc. of 58th International Astronautical Congress (IAC)*, 1st Prize of International Student Contest (Pierre Contensou Medal), Hyderabad, India, Sept. 2007

Henkel, P.; Giger, K.; Günther, C.: Multi-Carrier Vector Phase Locked Loop for Robust Carrier Tracking. – In: *Proc. of European Navigation Conference (ENC)*, Toulouse, France, April 2008

Henkel, P.; Günther, C.: Integrity Analysis of Cascade Integer Resolution with Decorrelation Transformations. – In: *Proc. of ION National Technical Meeting (NTM)*, San Diego, USA, pp. 903-910, Jan. 2007

Henkel, P.; Günther, C.: Three Frequency Linear Combinations for Galileo. – In: *Proc. of 4th IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC '07)*, Hannover, pp. 239-245, March 2007

Henkel, P.; Günther, C.: Sets of Robust Full-Rank Linear Combinations for Wide-Area Differential Ambiguity Fixing. – In: *Proc. of 2nd Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, Noordwijk (ESTEC)*, Netherlands, pp. 1-5, April 2007

Henkel, P.; Günther, C.: Schätzung der Trägerphasenmehrdeutigkeit bei Galileo. – In: *Proc. 10. ITG-Fachgruppensitzung Signalverarbeitung in der Navigation*, Oberpfaffenhofen, Oct. 2007

Henkel, P.; Günther, C.: Joint L/C-Band Code and Carrier Phase Linear Combinations for Galileo. – In: *Proc. International Journal of Navigation and Observation*, Vol. 2008, Hindawi publ., doi:10.1155/2008/651437, pp. 1-8, Jan. 2008

Henkel, P.; Günther, C.: Precise Point Positioning with Multiple Galileo Frequencies. – In: *Proc. of ION/ IEEE Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, Monterey, USA, pp. 592-599, May 2008

Süß, M.; Henkel, P.; Lu, Y.: Steering of the Reference Timescale for German Galileo Test Environment. – In: *Proc. European Frequency and Time Forum (EFTF)*, Geneva, Switzerland, May 2007

Erteilte Patente:

Henkel, P.: Method for Processing a Set of Signals of a Global Navigation Satellite System with at least Three Carriers: Geometry-free Linear Combinations. – In: *European Patent Appl. (PCT/EP2008/053300)*, March 2007

Henkel, P.: Method for Processing a Set of Signals of a Global Navigation Satellite System with at least Three Carriers: Three-Frequency Linear Combinations. – In: *European Patent Appl. (07 112 008)*, March 2007

Henkel, P.: Method for Processing a Set of Signals of a Global Navigation Satellite System with at least Two Carriers: Single Difference Phase and Code Bias Estimation for Precise Point Positioning. – In: *European Patent Appl. (08 007 781.1)*, April 2008



Akademische Arbeiten

Im August 2007 hat mein erster, externer Doktorand Andreas Schmid von Infineon Technologies seine Arbeit „Enhanced Sensitivity for Galileo and GPS Receivers“ mit „summa cum laude“ abgeschlossen. Eine Zusammenfassung finden Sie auf der letzten Seite dieses Kapitels.

Im Berichtszeitraum gab es weiter vier Diplomarbeiten bzw. Master Theses:

- Yuan Lu: *Clock Steering System Making Use of GPS Time Transfer*. Betreuer: A. Moudrak, Dr. Furthner (beide DLR) und P. Henkel, April 2006,
- Dominik Dötterbeck: *Analysis of Aiding Functions for GNSS Tracking*. Betreuer: S. Graf, Feb. 2007,
- Patrick Remi: *Error Analysis and Augmentation Signal Generation for GNSS*. Betreuer: S. Graf, May 2007,
- Juan Marin Torrejon: *Non-Line of Sight Analysis and Mitigation in Cellular Positioning Systems*. Betreuer: C. Mensing (DLR), S. Graf, Feb. 2008.

Zudem gab es eine Studienarbeit:

- Dimitri Hamidi: *GNSS-Satellitenverfügbarkeit in Räumen durch ein Fenster*. Betreuer: T. Jost (DLR) und P. Henkel, May 2008.

Mitarbeit in

Wissenschaftsgremien

- Mitglied im ITG/VDE-Fachausschuss 5.1 (Informations- und Systemtheorie),
- Mitglied im ITG/VDE-Fachausschuss 7.2 (Funksysteme),
- Mitglied im Programmausschuss Kommunikation und Navigation der Deutschen Raumfahrtagentur
- Mitglied im Programmkomitee der *European Navigation Conference (ENC-GNSS)* 2008.

Die Publikationsliste des Lehrstuhls für Kommunikation und Navigation umfasst 10 Beiträge in Zeitschriften und Konferenzbänden, 5 Patente sowie 15 eingeladene Vorträge.

Patente von Prof. Günther wurden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eingereicht und sind hier nicht aufgeführt.

Henkel, P.; Günther, C.: Method for Transmitting Satellite Data: Reduced Almanac Information Schemes. – In: *PCT/EP2007/056781*, July 2006

Henkel, P.; Günther, C.: A Method for Tracking a Plurality of Global Positioning Satellite Signals: Multi-Carrier Vector Phase Locked Loop. – In: *European Patent Appl. (08 007 248.1)*, April 2008

Eingeladene Vorträge:

Günther, C: Wie weit ist das Satelliten-Navigationssystem Galileo? Wissenschaftstage, München, 23.10. 2006

Günther, C.: Galileo and GMES – Technologies for Maritime Navigation. Workshop Meer und Wirtschaft, Brussels, Belgium, 07.03.2007

Günther, C.: Reduced Ionosphere-Free Carrier Smoothed Code, Seminar at the GPS Lab, Stanford, CA, USA, 01.10.2007

Günther, C.; Lo S.: GNSS Signal Observations – DLR and Stanford. Workshop on Position, Navigation, and Time, Stanford, CA, USA, 05.11.2007

Günther, C.: Future Navigation Applications – Automation and Control. Workshop DLR and Galileo, Brussels, Belgium, 20.11.2007

Günther, C.: Satellitennavigation von Sputnik zu Galileo. Kolloquium Audi.imi.tum, Ingoldstadt, 22.01. 2008

Günther, C.: Architekturen für Satellitensysteme, insbesondere für Digital Divide, Verkehr und Katastrophenschutz. Workshop Satellitenkommunikation in Deutschland, Petersberg/Bonn, 12.03.2008

Günther, C.: GNSS for Landing Systems and Carrier Smoothing Techniques. Kolloquium Satellitennavigation, TU München, 19.06.2008

Henkel, P.: Integrity Analysis of Cascaded Integer Resolution with Decorrelation Transformations. 4-th GNSS Integrity Meeting, DLR, Oberpfaffenhofen, 13.02.2007

Henkel, P.: Linear Carrier Phase Combinations for Galileo, Delft Institute of Earth Observation and Space Systems. Delft University of Technology, Netherlands, 04.05. 2007

Henkel, P.: Wide-Area RTK and Precise Point Positioning with mixed Code-Carrier Combinations. Delft Institute of Earth Observation and Space Systems. Delft University of Technology, Netherlands, 18.12.2007

Henkel, P.: Wide-Area RTK and Precise Point Positioning with mixed Code-Carrier Combinations. DLR, Neustrelitz, 30.01.2008

Henkel, P.: Precise Carrier Phase Positioning with Galileo. Moscow-Bavarian Joint Advanced Student School (MB-JASS). Moscow, Russia, 28.02.2008

Henkel, P.: Integrität bei Trägerphasenmessungen, ITG Sitzung Galileo und Anwendungen. DLR, Oberpfaffenhofen, 05.06.2008

Henkel, P.: Zuverlässige Schätzung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten bei Galileo. Kolloquium Satellitennavigation, TU München, 03.07. 2008

Mehrfrequenz-Linearkombinationen für die zuverlässige Mehrdeutigkeitsschätzung

Patrick Henkel und Christoph Günther



The European Global Navigation Satellite System Galileo will transmit signals on four carrier frequencies with bandwidths that are up to 25 times larger than of the current GPS C/A code. This enables the computation of new multi-frequency ionosphere-free mixed code-carrier linear combinations. The lower code noise level and the larger number of frequencies enables a much more reliable ambiguity resolution which is a prerequisite for precise point positioning.

Die Trägerphase der von Galileo- und GPS-Satelliten ausgesandten Signale kann aufgrund ihrer geringen Wellenlänge von 19.0 cm sehr genau gemessen werden – üblich ist eine Standardabweichung von 1% der Wellenlänge, d. h. etwa 2mm. Diese hochgenauen Messungen wurden bisher von den Geodäten zur Positionsbestimmung von Referenzstationen verwendet und sollen zukünftig auch für Präzisionslande-anflüge eingesetzt werden, eine Anwendung, bei der höchste Anforderungen an die Zuverlässigkeit gestellt werden.

Die Trägerphase ist allerdings mehrdeutig und erfordert die Schätzung einer ganzzahligen Mehrdeutigkeit für jeden Satelliten und jede Frequenz. Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Redundanzgewinnung für die Mehrdeutigkeitsschätzung, die beide auf einem kontinuierlichen Tracking der Phase basieren und auch kombiniert werden können.

Der erste Ansatz besteht in der Verwendung von Messungen mehrerer Zeitpunkte und hat den Nachteil, dass sich die Geometrie nur sehr langsam ändert und der Empfänger lange warten muss. Oft wird eine ganzzahlige Dekorrelation zur Verbesserung der Konditionierung des Gleichungssystems durchgeführt.

Der zweite Ansatz berücksichtigt Codemessungen, die zwar nicht mehrdeutig, dafür aber auch deutlich verrauschter sind. Dieser verbessert damit ebenfalls die Konditionierung

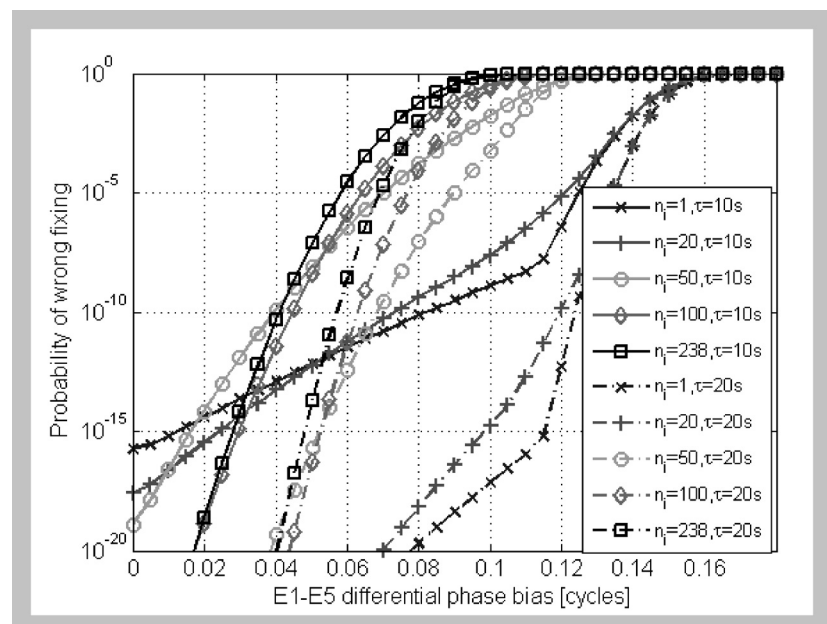
des Gleichungssystems. Von besonderem Interesse sind hier die neuen Galileo-Signale, die aufgrund der BOC-Modulation und wesentlich größeren Bandbreiten (Faktor 25 für das E5-Band) ein deutlich niedrigeres Coderauschen aufweisen und auf vier anstelle von nur zwei Trägerfrequenzen übertragen werden. Dies ermöglicht die Berechnung von neuen ionosphärenfreien Mehrfrequenz-Linearkombinationen, die Code- und Phasenmessungen berücksichtigen und dadurch ein deutlich größeres Verhältnis von Wellenlänge und Standardabweichung des Rauschens aufweisen als die gegenwärtigen GPS-Signale.

Eine optimierte Linearkombination von E1 und E5 zeichnet sich durch die Wellenlänge 3.215 m, ein Rauschniveau von wenigen Zentimetern und sehr kleine Gewichtungskoeffizienten für die Codemessungen aus, die die Mehrwegeausbreitung auf E1 um 23.6 dB dämpfen. Dies ermöglicht eine sehr geringe Fehleranfälligkeit der Mehrdeutigkeitsschätzung, die in der Abbildung als Funktion des differentiellen Phasenbiases aufgetragen ist. Dabei konnte

gezeigt werden, dass bei größeren Phasenbiases eine teilweise Dekorrelation mit einer reduzierten Anzahl an Iterationen n_i eine deutlich geringere Fehlerrate ermöglicht als eine vollständige Dekorrelation. Desweiteren kann die Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitsschätzung durch eine Vergrößerung der Zeitkonstanten τ der Codeglättung weiter gesteigert werden.

Literatur:

- [1] Henkel, P.; Günther, C.: Joint L/C-band code-carrier phase linear combinations for Galileo, *International Journal of Navigation and Observation*, Hindawi Publ., 2008.
- [2] Henkel, P.; Günther, C.: An improved integrity risk computation with E1-E5 ionosphere-free mixed code-carrier combinations, *International Symposium on Precision Approach and Performance based Navigation (ISPA)*, pp. 1–5, Bonn, Oct. 2008



Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Mehrdeutigkeitsschätzung bei differentiellen Biases: Verwendung von zwei ionosphärenfreien Linearkombinationen mit Codeglättung und reduzierter Dekorrelation zur absoluten Positionierung

Robuste Phasenregler zur Sicherung der Kontinuität der Navigationslösung

Kaspar Giger, Patrick Henkel und Christoph Günther

The new positioning methods developed at the Institute of Communication and Navigation require the reliable joint tracking of the signal phase on several frequencies. Correspondingly, the exposure due to scintillations in the ionosphere and interference are amplified by the requirement of joint tracking on several frequencies. The currently used phase locked loops (PLL), deployed independently for every satellite and every carrier frequency, can't cope with these phenomena. Therefore multi-frequency multi-satellite vector tracking loops are studied for robust tracking. They make use of the spatial and spectral independency of the perturbations by utilizing a state-vector consisting of the receiver position, clock offset and also atmospheric delays. These physical quantities can be perfectly modeled and thus optimally filtered.

The Figure shows the big potential of the coupled phase controllers.

Zur hochgenauen Navigation insbesondere in sicherheitskritischen Bereichen wie dem Landen von Flugzeugen wurden am Lehrstuhl für Kommunikation und Navigation trägerphasenbasierte Navigationsverfahren entwickelt. Diese verlangen, dass die Phasen auf mehreren Trägerfrequenzen ohne Unterbrechungen oder Sprünge (Cycle Slips) verfolgt werden können (Tracking). Üblicherweise werden hierzu auf jeder Frequenz unabhängige Phasenregelkreise (PLL) eingesetzt.

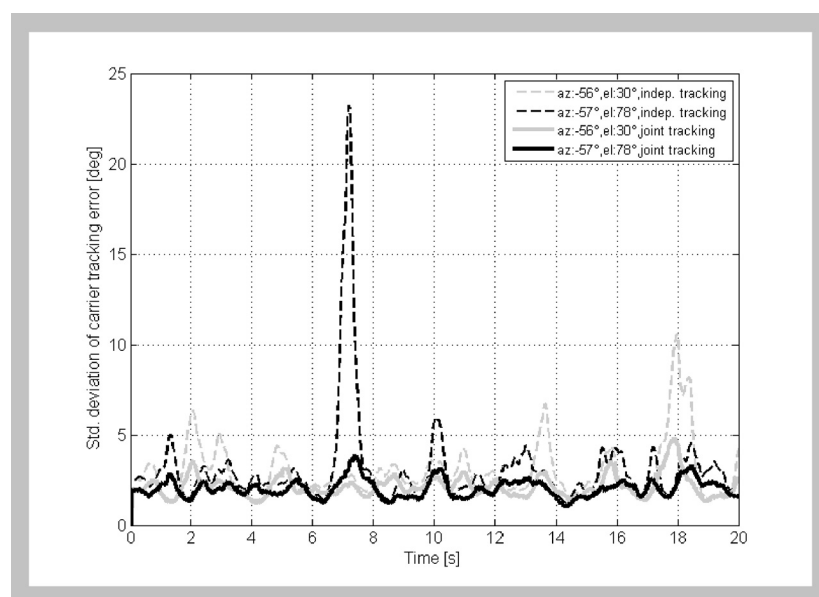
Schwankungen im Plasma der Ionosphäre, wie sie im elfjährigen Zyklus besonders in Jahren starker Sonnenaktivität auftreten, aber auch fortwährend unter den Tropen auftreten können, führen zu einer Reihe von Phänomenen. Hierzu gehören zum einen Szintillationen – eine durch Brechungsindexschwankungen verursachte Mehrwegeausbreitung mit starken Signaleinbrüchen, aber auch Phasenfluktuationen, die durch Änderungen des Brechungsindex selbst verursacht werden. Dies kann zu einem Verlust der Phasenregelung (Loss of Lock) bzw. den bereits erwähnten Cycle Slips führen.

Da von einer gewissen Unabhängigkeit dieser Phänomene in verschiedenen Himmelsbereichen und auch Frequenzbereichen ausgegangen werden kann, wurden gekoppelte Phasenregler über alle Variablen untersucht. Als Regelgrößen kommen in diesem Fall vor allem noch der Zeitversatz der Empfängeruhr von der Systemuhr und die Position des Nutzers vor. Weitere mögliche Regelgrößen sind die momentane Troposphären-Zenitverzögerung sowie die einzelnen Ionosphärenverzögerungen.

Die Filter des Reglers können perfekt auf die einzelnen physikalischen Phänomene angepasst werden. Die Abbildung zeigt einen Vergleich der Phasenfehler zwischen einem unabhängigen und einem gekoppelten Phasenregler für zwei Satelliten, siehe auch Referenz [1]. Der große Phasenfehler nach ca. 7 Sekunden wird hier durch einen starken Signaleinbruch verursacht und kann durch einen gekoppelten Phasenregler fast vollständig unterdrückt werden.

Als weitere Optionen können unerwünschte Variablen wie die Ionosphären- und die Troposphärenverzögerung oder der Uhrenfehler aus den Gleichungen herausprojiziert werden. Auch hierzu liegen erste Ergebnisse vor. Derzeit wird an Möglichkeiten gearbeitet, die Ergebnisse zu verifizieren. Direkte Messungen sind nur bedingt möglich, da viele Signale nicht in ausreichender Zahl verfügbar sind.

Weiter können auch fremde technische Systeme Störungen verursachen. Je nach Korrelation über die verschiedenen Frequenzen können auch in diesem Fall ähnliche Verfahren angedacht werden.



Vergleich des Phasenfehlers zwischen unabhängigen und gekoppelten Phasenreglern bei einem mittleren $C/N_0 = 40$ dB-Hz und einem Szintillationsindex $S_4=0.4$ für alle sichtbaren Satelliten

Literatur:

- [1] Henkel, P.; Giger, K.; Günther, C.: Multi-Carrier Vector Phase Locked loop for Robust Carrier Tracking. In: *Proc. of ENC-GNSS, Toulouse, France*, pp. 1–6, 2008.

Integrität und Kontinuität durch Kopplung von GNSS und INS

Sebastian Graf und Christoph Günther



Global navigation satellite system (GNSS) and inertial navigation systems (INS) show a complementary failure behavior. The former is sensitive to GNSS system- and satellite-failures and the latter to drift errors. The combination of both systems is correspondingly an attractive option to control failures in the context of safety critical applications.

The Institute of Communication and Navigation aims at developing GNSS/INS integrity algorithms for navigating with confidence within so called alert limits. The system must typically be designed so that undetected errors larger than these alert limits do not occur with a probability larger than 10^{-7} ... 10^{-9} during a critical maneuver. Furthermore, alerts are only allowed to be issued rarely 10 per maneuver. This later property is called continuity and is difficult to fulfill if significant interference might occur. Fortunately, this is the area where the integration with inertial sensors is expected to provide the largest benefits. The work is done in close cooperation with the German Aerospace Center, DLR.

Eine hohe Zuverlässigkeit sowie die Kontinuität und Verfügbarkeit der Positionslösung sind bei sicherheitskritischen Anwendungen ebenso unverzichtbar wie eine ausreichende Genauigkeit. Bei einem reinen Satellitennavigationssystem (GNSS) ist besonders die Erfüllung der Kontinuitätsanforderung kritisch. Sie lässt sich jedoch mit Trägheitssensoren (INS) recht gut sicherstellen. Diese Sensoren leiden allerdings unter Driftfehlern, die sich jedoch unter Verwendung von Satellitensignalen schätzen lassen. Entsprechend ist es sinnvoll, geschickt gekoppelte Systeme zu betrachten.

Über die Dauer des Zeitintervalls, das ohne zuverlässige Satellitensignale überbrückt werden kann, entscheiden die Güte der Inertialsensoren sowie die Kopplungsart. Die Zuverlässigkeit und Kontinuität

des Inertialsubsystems wird durch redundante Sensoren sichergestellt. Hierzu sind allerdings mindestens vier Achsen erforderlich.

Im gekoppelten System werden Position und Lage gemeinsam bestimmt. Weiter werden alle verfügbaren Messdaten verwendet, um Fehler zu detektieren (siehe Abbildung). Die Integrität verlangt, dass der Positionsfehler mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - p_{\text{HMI}}$ applikationsspezifische Schranken nicht unbemerkt überschreitet. Auch die Wahrscheinlichkeit p_{HMI} ist applikationsspezifisch und liegt häufig im Bereich von 10^{-7} bis 10^{-9} . Die Kontinuität verlangt darüberhinaus, dass fast immer eine zulässige Navigationslösung vorliegt.

Die Hauptaufgabe dieses Fachgebiets besteht dementsprechend darin,

- einen maximalen Nutzen aus der Kopplung zu ziehen und insbesondere fortlaufend die Driftfehler aus dem Inertialsystem herauszukalibrieren,
- gleichzeitig jedoch Verzerrungen der Messungen des Satellitennavigationsempfängers zu erkennen, um das System frühzeitig entkoppeln zu können.

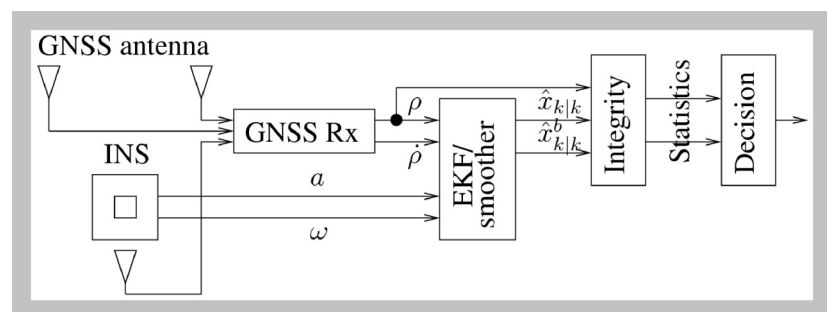
Da sich solche Verzerrungen schleichend einstellen können, ist es gegebenenfalls erforderlich, die Entkopplung auch in die Vergangenheit zurückzuverlegen. Die Kopplung muss dabei so gestaltet werden, dass die Übergänge zwischen den verschiedenen Zuständen zu keinen Diskontinuitäten führen.

Zur Detektion selbst kommen unter anderem Glättungsverfahren in Frage, die die Daten in beide Zeitrichtungen verarbeiten. Zur Glättung verwendet man in erster Linie Kalman-Filter.

Eine Beherrschung von Fehlersituationen, bei denen neben elektromagnetischen Störungen auch Satellitendriftfehler einbezogen werden, ist für kritische Flugphasen wie dem Landeanflug in der Luftfahrt oder bei Hafenmanövern in der Schifffahrt von großer Bedeutung. Im zweiten Fall spielt auch die Mehrwegeausbreitung eine große Rolle. Signifikante Echos werden sowohl durch Hafenanlagen als auch durch andere Schiffe erzeugt.

Das übergeordnete Ziel unserer Arbeiten ist es, Integritätsverfahren abzuleiten, um die beschriebenen Leistungsvorgaben für sicherheitskritische Anwendungen durch die Verkopplung von Satellitennavigation und Trägheitssensoren zu erfüllen.

Der Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung von Algorithmen und deren geeignete Bewertung. Kritisch ist dabei die Modellierung der dominanten Störungen und des Fehlverhaltens. Im Satellitennavigationsbereich kann man sich dabei weitgehend auf Modelle stützen, die für die Luftfahrt entwickelt wurden.



Integriertes GNSS/INS-Navigationssystem mit Zuverlässigkeitsüberprüfung

Verbesserte Empfindlichkeit für Galileo- und GPS-Empfänger

Andreas Schmid und Christoph Günther

The broad use of satellite navigation in the mass market would be strongly supported by the availability of positioning services inside urban canyons and buildings. A new differential correlation technique, which dynamically adapts various system parameters during the correlation process, has been developed. It permits the utilization of signals that are 50 times weaker than with current techniques.

Für den Erfolg der Satellitennavigation im Massenmarkt ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Dienste nicht nur im offenen Gelände, sondern auch in Straßenschluchten und Gebäuden zur Verfügung stehen. Damit wird die Satellitennavigation dort ermöglicht, wo sich die meisten Nutzer aufhalten und sie neue Dienste mit mobilen Endgeräten wie zum Beispiel Mobiltelefone oder PDAs nutzen möchten.

In Rahmen einer externen Doktorarbeit [1] wurden neue Verfahren

zur Steigerung der Empfindlichkeit von Galileo- und GPS-Empfängern entwickelt. Diese Empfindlichkeitssteigerung ist erforderlich, um die starke Signaldämpfung durch Mauerwerk, Decken, beschichtete Scheiben, etc. zu kompensieren.

Bei Anwendungen in mobilen Endgeräten ist zusätzlich auch der Stromverbrauch zu berücksichtigen. Die Schaltungen führen entsprechend nur dann Strom, wenn eine Aktualisierung der Position erforderlich ist. Das bedingt bei jeder Positionsbestimmung eine Neu-Akquisition des Signals.

Im Laufe der Doktorarbeit wurde für diese Signalakquisition ein Verfahren entwickelt, das die Empfindlichkeit des Empfängers gegenüber Standardempfängern um bis zu 17 dB verbessert. Der Gewinn basiert auf einem neuen differentiellen Korrelationsverfahren und einer dynamischen Anpassung von Parametern, zum Beispiel der kohärenten Integrationsdauer. Zur Empfindlichkeitssteigerung trägt eine genaue Schätzung der Dopplerverschiebungen ebenfalls bei.

Die beschriebenen Maßnahmen lassen sich glücklicherweise in modernen Empfängerkonzepten nur ge-

ringer Komplexität umsetzen. Sie erlauben damit eine Positionsbestimmung innerhalb einer Akquisitionszeit von wenigen Sekunden mit etwa zwanzigmal schwächeren Signalen (siehe Grafik). Ebenfalls erhöht wird die Positionierungsgenauigkeit und zwar bis um den Faktor 4.8. Dies ist eine Konsequenz des besseren SNR, das durch das neue Verfahren herbeigeführt wird und letztendlich auch der Schlüssel zur verbesserten Signalakquisition ist.

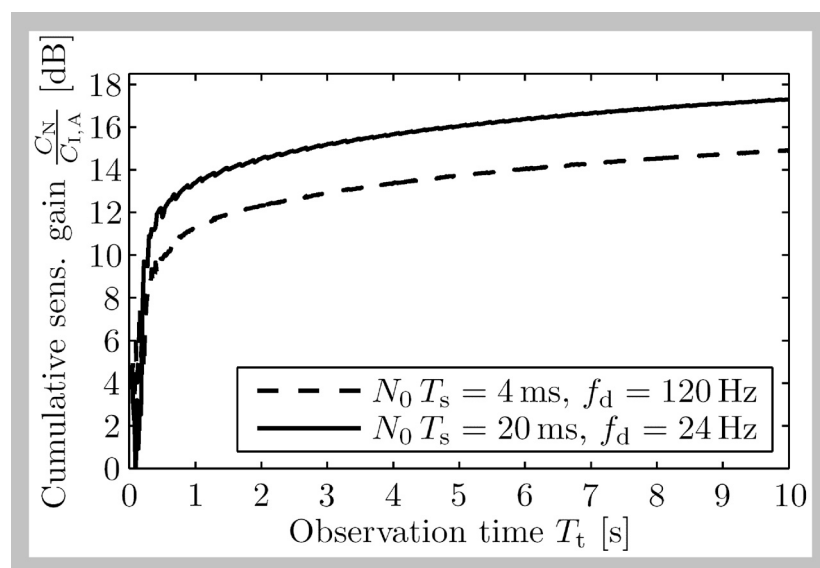
Der Empfindlichkeitsgewinn der neuen Techniken übersteigt bereits den Dynamikbereich der verwendeten Spreizcodes in den Galileo- und GPS-Signalen. Um die Verbesserungen auch in die Praxis umzusetzen, wurde eine adaptive Anpassung der Detektorschwellwerte eingeführt. Dazu wurde eine geeignete Schätzmethode an das differentielle Korrelationsverfahren angepasst.

Ein weiteres Problem in Straßenschluchten und Gebäuden ist die Mehrwegeausbreitung. Diese führt häufig zu Fading-Szenarien und damit zu Fehlakquisitionen. Diese Problematik wird jedoch ebenfalls durch die adaptive Anpassung der Detektorschwellwerte umgangen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die wesentlichen Signalverarbeitungsblöcke auch in ein Mikrochipdesign umgesetzt. Durch Überabtastung einzelner Hardwareblöcke in Kombination mit Multiplexing-Verfahren können die Hardware-Ressourcen optimal genutzt werden. Durch die Synthese in einen CMOS-Halbleiterprozess konnte gezeigt werden, dass es mit den neuen Korrelationsverfahren keine wesentlichen Änderungen beim Stromverbrauch gibt. Die Auswirkungen auf die Siliziumfläche, die eine direkte Aussage über die Produktionskosten liefert, sind ebenfalls vernachlässigbar.

Literatur:

- [1] Schmid, A.: Enhanced Sensitivity for Galileo and GPS Receivers. Dissertation. TU München, Februar 2007.



Empfindlichkeitsgewinn für Galileo-Signale durch die neuen adaptiven Korrelationstechniken in Abhängigkeit der Beobachtungszeit für zwei verschiedene Dopplerverschiebungen

12

Sonstiges

12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

Ralf Kötter

- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2007)
- Mentor im gemeinsamen Elitestudiengang SIM (Systeme der Informations- und Multimediatechnik) der TUM und der FAU Erlangen-Nürnberg (seit 2007)
- Mitglied der Strukturkommission der Fakultät EI (seit 2008)
- Programmdirektor des Studiengangs MSCE der Fakultät EI (ab Oktober 2008)

Norbert Hanik:

- Mitglied der Arbeitsgruppe „Lehramt an Beruflichen Schulen“ in der Fakultät EI (seit 2004)
- Mitglied verschiedener Berufungsausschüsse in der Fakultät EI (seit 2005)
- Mitglied im DVP-Ausschuss des Zentralinstituts für Lehrerbildung (seit 2005)
- Mitglied im DHP-Ausschuss der Fakultät EI (seit 2006)
- Vorsitzender des BAFöG-Ausschusses der Fakultät EI (seit 2006)
- Mitglied im Promotionsausschuss der Fakultät EI (seit 2006)

Joachim Hagenauer:

- Programmdirektor des Studiengangs MSCE der Fakultät EI (1998–2008)
- Vorstand des Internationalen Begegnungszentrums (IBZ) der Münchner Universitäten (seit 2005)
- Mitglied im International Advisory Board des Institute for Advanced Studies (IAS) der TUM (seit 2006)
- Mentor im gemeinsamen Elitestudiengang SIM (Systeme der Informations- und Multimediatechnik) der TUM und der FAU Erlangen-Nürnberg (seit 2006)

Pavol Hanus:

- Koordinator und Manager des Studiengangs MSCE der Fakultät EI (seit 2004)

12.1 Tätigkeit in der (Akademischen) Selbstverwaltung

12.2 Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen

12.3 Neuerungen in der Infrastruktur

12.4 Nomor – lebe Visionen, erlebe die Zukunft

12.5 Feste – Feiern

Manfred Jürgens:

- Mitglied des Personalrats der Technischen Universität München zur Vertretung der Beamten (seit 1995)

12.2 Tätigkeit in Gremien und wissenschaftlichen Vereinigungen

Ralf Kötter

- Mitglied im Board of Governors der IEEE Information Theory Society (seit 2003)
- Mitglied der ITG-Fachgruppe 5.1 „Informations- und Systemtheorie“ (seit 2007)
- Mitglied im Münchner Kreis, einer übernationalen Vereinigung für Kommunikationsforschung (seit 2007)
- Co-Chair im Programmkomitee des „International Symposium on Information Theory, 2008, Toronto“

Norbert Hanik:

- Mitglied der ITG-Fachgruppe 5.3.1 „Simulation und Modellierung optischer Komponenten und Systeme“ (seit 1999)

Joachim Hagenauer:

- Mitglied in Programmkomitees verschiedener Tagungen
- Koordinator und Vortragender der Lehrgangsreihe „Digitale Kommunikation und Informationstechnik“ der CCG Oberpfaffenhofen (1978–2008)
- Fellow der Information Theory (IT) Society des IEEE (seit 1993, 1996 – 2002 im Board of Governors)
- Mitglied im Münchner Kreis, einer übernationalen Vereinigung für Kommunikationsforschung (seit 1994)
- Distinguished Lecturer of the IEEE COMSOC Society (seit 1996)
- Mitglied im Auswahlausschuss des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (2001–2007)
- Mitglied im Konvent „acatech“ der Deutschen Akademien der Wissenschaften (seit 2002)
- Vorstand der Eduard-Rhein-Stiftung (seit 2006, Mitglied im Kuratorium seit 2000)
- Mitglied im IEEE Richard W. Hamming Medal Committee (2003–2008)
- Vorsitzender des Preiskomitees des Vodafone-Innovationspreises (seit 2003, Mitglied seit 1998)
- Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (seit 2003)
- Vorsitzender des BAdW-Forums „Technologie“ (seit 2003)
- Mitglied im Advisory Board of the Network of Excellence in Wireless Communications – NEWCOM (2006–2008)
- Mitglied im Evaluation Board High Speed Communication der „Swedish Foundation of Strategic Research“ (seit 2006)
- Mitglied des Advisory Boards der DoCoMo Eurolabs (seit 2007)
- Mitglied im VDE Slaby Kreis (seit 2007)

12.3 Neuerungen in der Infrastruktur

Günter Söder

12
Sonstiges

Die Amtszeit von Prof. Hagenauer (1993–2006) war außer von vielen beeindruckenden wissenschaftlichen Erfolgen auch durch (gefühlte) 20 Jahre Sanierungsmaßnahmen an unserem Gebäude N4 geprägt. Die im Bericht 2006 geäußerte Hoffnung, dass sich in der Kötter-Ära die Beeinträchtigung durch Staub und Lärm vermeiden ließe, hat sich leider nicht erfüllt. Von Anfang bis Herbst 2007 wurde unser Rechnernetz im Rahmen des Netzinvestitionsprogramms NIP 2 modernisiert. Jeder einzelne Rechner ist nun mit dem Gateway des Leibniz-Rechenzentrums im Keller von N4 per Twisted-Pair direkt verbunden. Diese Sternverkabelung ersetzt das seit 1986 sukzessive in Eigenregie entstandene Rechnernetz und die zugegebenermaßen zuletzt schon etwas bizarre Topologie.

Allerdings waren die Belästigungen 2007 weniger schlimm als in früheren Jahren. Dafür bedanken wir uns bei Herrn Schönleben vom TU-Bauamt und der ausführenden Firma. Aber sicher haben die vielen Interventionen unseres Akademischen Direktors Dr. Eichin zwischen 2004 und 2006 ebenfalls Wirkung gezeigt. Erfreulich ist auch, dass im Rahmen dieses Umbaus ein neuer Raum für Gastprofessoren entstanden ist.

Die weiteren Neuerungen der letzten zwei Jahre betrafen vorwiegend die Rechnerausstattung:

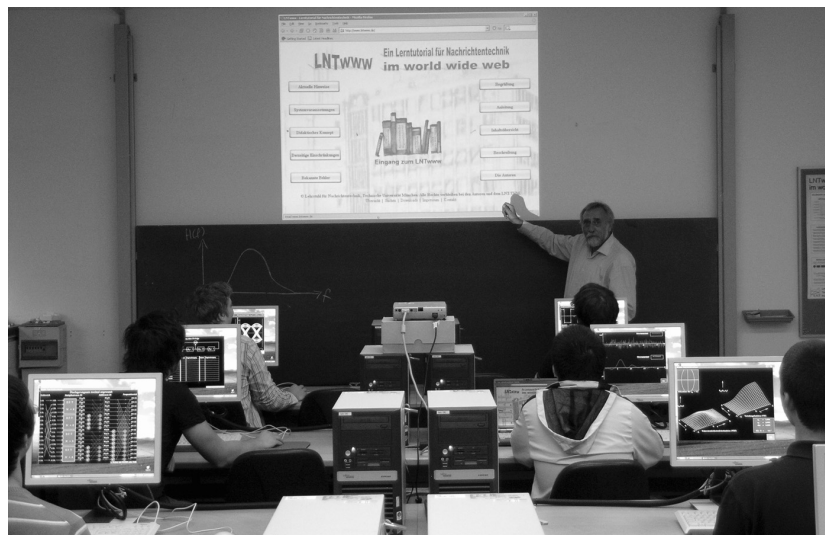
- Für jeden neuen LNT-Mitarbeiter wurde ein leistungsfähiger Arbeitsplatzrechner mit TFT-Bildschirm angeschafft.
- Daneben teilen sich jeweils zwei Assistenten einen Laptop zur Präsentation ihrer Forschungsergebnisse bei Konferenzen und Seminaren.
- Auch unsere Server für die unterschiedlichen Aufgaben wurden weitgehend modernisiert und neue Simulationsserver integriert.
- Für Diplomanden, Bachelor- und Masterarbeiter – eine äußerst wichtige Gruppe zur Erfüllung unserer Aufgaben – gab es 2007 zwölf neue PCs mit TFT-Bildschirmen.

- Schließlich wurde unser Praktikum mit zehn leistungsfähigen Personalcomputern und TFT-Bildschirmen neu bestückt (oberes Foto).

Für diese Modernisierung des Praktikums inklusive der Anschaffung von je zwei Oszilloskopen und Spektrumanalysen wurden uns Mittel aus den seit 2007 obligatorischen Beiträgen der Studierenden zur Verfügung gestellt, wofür wir uns herzlich bedanken. Die anderen oben genannten Anschaffungen sowie verschiedene Peripheriegeräte wurden aus Eigenmitteln des LNT oder mit Berufungsgeldern von Prof. Kötter bzw. Prof. Hanik finanziert. Zu erwähnen ist auch das LCD-Display,

auf dem fortwährend eine Powerpoint-Präsentation unsere Arbeiten und Mitarbeiter vorstellt (unteres Foto).

Diese Vielzahl an Rechnern verlangt hohen Einsatz und Kreativität von unseren Systemadministratoren. Im Namen aller Nutzer bedanke ich mich auf das Herzlichste bei Manfred Danzer, Janis Dingel, Stephan Hellerbrand und Martin Kontny.



Simulationspraktikum im Raum N2409



LCD-Video vor unseren Vorlesungsräumen im zweiten Stock des Gebäudes N4

12.4 Nomor Research – lebe Visionen, erlebe die Zukunft

Thomas Stockhammer und Ingo Viering

Everyday, all of us – employees, partners, customers, and students – experience the future of mobile communications. At Nomor Research, we live our visions.

Back in September 2004 Nomor Research was founded as a spin-off of the Technische Universität München (TUM) in order to continue a successful cooperation with Siemens AG on comprehensive simulation tools for future mobile communication systems. The early experience in the development of emerging technology has made Nomor one of the world's leading players in the latest mobile communication system, the Long Term Evolution (LTE). Today, we provide consulting, development and training services to customers all over the world. Major achievements of the last two years were, among others, the extension of our relationship with our lead customer Nokia Siemens Networks (NSN), the participation in the EU-funded project SEA (Seamless Content Delivery) as well as the establishment of two product lines. The company has grown to almost 20 people, many of them heavily affiliated with the TUM.

Im September 2004 wurde die Firma Nomor Research GmbH von Thomas Stockhammer, Ingo Viering und Joachim Hagenauer gegründet, um die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der Siemens AG und der TU München fortzusetzen. Lautete die Überschrift vor zwei Jahren an gleicher Stelle noch „Aus der Garage in den Hinterhof“, so können wir im Jahr 2008 vermelden, dass wir den Hinterhof verlassen haben und nun über den Hof ins Vordergebäude umgesiedelt sind.

Dass sich in den beiden letzten Jahren noch mehr getan haben muss, zeigt allein die Tatsache, dass 2006 unsere Geschäftspartner noch BenQ mobile und Siemens hießen und wir für diese das Equipment für 3GSM-Messen lieferten. 2008 waren wir selbst auf der 3GSM in Barcelona vertreten und kooperieren mit wenigstens zwanzig Partnern und Kunden weltweit an innovativen Konzepten und Produkten. Vor allem

zum Thema *Long Term Evolution* (LTE) konnten und können wir unsere langjährigen Erfahrungen aus der Simulator-Entwicklung in die Beratungs-, Schulungs- und Entwicklungsaufträge einbringen.

Die Zahl der Team-Mitarbeiter hat sich bei Nomor Research in den letzten zwei Jahren – Moore's Law entsprechend – auf nunmehr knapp 20 Mitarbeiter verdoppelt. Mit zahlreichen Studenten der TU München, die bei uns häufig den Weg vom Praktikanten über den Werkstudenten, Masterarbeiter zum Mitarbeiter gehen, sowie unseren ständigen Kollegen aus dem Libanon, China, Ostdeutschland, Franken und Oberbayern haben wir eine bunte und lustige Mischung, wie man auf dem Foto zum Abschluss des Jahres 2007 unschwer erkennen kann.

Höhepunkte der letzten Jahre unserer Firmengeschichte waren u. a.

- die kontinuierliche und erweiterte Zusammenarbeit mit Nokia Siemens Networks,
- die Beteiligung im EU-FP7-Förderprojekt SEA (*Seamless Content Delivery*),
- die Ausdehnung unseres Kundenstamms, darunter die zwei weltweit größten Mobilfunkoperatoren,
- sowie das Aufsetzen zweier Produktlinien im Test- und Protokollbereich.

Noch mehr erfüllt es uns aber mit Freude, dass wir auch vier Jahre nach der Ausgründung den Kontakt zur TU München aufrechterhalten und weiter ausbauen konnten. Studenten erleben, erfahren und mitentwickeln bei uns neueste Mobilfunksysteme – eine wirkliche Hands-On-Erfahrung, komplementär zur vorzüglichen Ausbildung an der TUM.

Die Vision, die Prof. Hagenauer zu Beginn des nun 10-jährigen MSCE-Programms hatte, wird bei Nomor Research gelebt und wir alle – Mitarbeiter, Partner, Kunden und Studenten – erleben Tag für Tag einen weiteren Schritt der Zukunft des Mobilfunks.



Firmengründer T. Stockhammer (oben links), I. Viering und J. Hagenauer (in der Mitte unten) sowie Mitarbeiter und Diplomanden von Nomor Research Ende 2007. Acht der 19 Personen auf diesem Foto sind aus dem LNT hervorgegangen.

12.5 Feste –Feiern



21.12.2006: Das Organisationsteam „ParTimoBil“ der Weihnachtsfeier 2006. Von links Pavol Hanus, Timo Mayer und Bernhard Göbel.



02.03.2007: Prof. Kötter beim Einstand am LNT mit seinen Vorgängern, Prof. Hagenauer und Prof. Marko. Vorne Frau Nuala Kötter und Sohn Finn.



09.11.2007: Gemeinsame Feier von Dr. Schreckenbach (Hut mit hölzerner 3D-Gauß-WDF) und Dr. Jenkač (mit äußerst frisurschonendem Doktorhut).



21.12.2006 – NT-Praktikum:

LNT-Weihnachtsfeier 2006

- Vortrag von Prof. Norbert Hanik:
Die kaiserlose, schreckliche Zeit
(Abdruck auf übernächster Seite)
- Rückblick in Bildern:
Das Jahr am LNT
- Denk-, Kreativ-, Aktionsspiele
(siehe Foto)

Organisation: B. Göbel, P. Hanus,
T. Mayer (kurz: ParTimoBil)

02.03.2007 – NT-Praktikum:

Einstand von Ralf Kötter

Persönliches Kennenlernen bei
herzhaftem Essen (siehe Foto)

Organisation: Familie Kötter

01.08.2007 – Dachterrasse:

LNTwww-Grillfest

Organisation: G. Söder, K. Eichin &
viele (ehemalige) Diplomanden

11.10.2007: Exkursion zur Sendeanlage Hühnerberg

(siehe auch Kapitel 9.2):

- Führung durch die Sendeanlage
- Wanderung zur Burg Harburg
- Mittagessen in der Burgschänke
- Besichtigung der Burganlagen

Organisation: B. Göbel, P. Hanus
und T. Mayer

09.11.2007 – NT-Praktikum:

Doppel-Doktorfeier Frank & H

Organisation: H. Jenkač und
F. Schreckenbach (siehe Fotos)

14.11.2007 – im 3. Flur:

Einstandsfeier LNT 7

Spezialitäten aus den 6 Herkunftsländern unserer 7 Neuen:
Bulgarien, Chile, Deutschland,
Indien, Russland, Schweiz
(siehe Fotos auf nächster Seite)

Organisation: J. Brauchle, O. Gaete,
K. Giger, V. Kuryshv, M. Thakur,
D. Traskov, G. Zeitler

12.12.2007 – NT-Praktikum:

LNT-Weihnachtsfeier 2007

- Grußwort von Prof. Kötter
- Vortrag von Prof. Gert Hauske: Was macht einen guten wissenschaftlichen Vortrag aus?
- Rückblick in Bildern: Das Jahr am LNT
- Denk-, Kreativ-, Aktionsspiele (siehe Foto)

Organisation: F. Breyer, L. Coelho und S. Hellerbrand – kurz: Die PheyerCoenige

10.06.2008 – NT-Bibliothek:

Sektempfang für Prof. Kötter

nach der Verleihung des Vodafone-Innovationspreises 2008 in Stuttgart (siehe auch Kapitel 9.4)

Organisation: Der gesamte LNT

24.07.2008 – Dachterrasse:

Grillfest nach der EM

- Nachlese der Fußball-Euro mit einem Grillabend (siehe Foto)
- Umsetzung der Gewinne des LNT-EM-Tipps
- Dank an die Sieger/Sponsoren (Traskov, Göbel, Brauchle)

Organisation: N. Dütsch, K. Giger und M. Thakur (die „Looser“)

07. und 08.10.2008: **Exkursion nach Eisenach und Meinungen** (siehe auch Kapitel 9.6):

- Anreise mit dem Bus nach Eisenach
- Besichtigung der Wartburg
- Weiterfahrt nach Meinungen, gemütliches Zusammensein, Übernachtung im Hotel Altes Knasthaus Fronfeste
- Besichtigung der Entwicklung und Produktion der Fa. ADVA
- Mittagessen in der Schlossgaststätte, Rückfahrt nach München

Organisation: F. Breyer, L. Coelho und S. Hellerbrand



14.11.2007: Einladung und Büffet zum LNT7-Fest. Von rechts unten im Uhrzeigersinn: Georg, Joschi, Oscar, Vladimir, Mohit, Danail, Kaspar.



05.12.2007: Das Organisationsteam „PheyerCoenige“ der Weihnachtsfeier 2007. Von links Leonardo Coelho, Florian Breyer und Stephan Hellerbrand.



24.07.2008: Grillfest nach dem EM-Tipp. Sponsoren waren die Gewinner (Traskov, Göbel und Brauchle), Ausrichter die „Looser“ (Dütsch, Giger und Thakur).

Analogie zwischen dem LNT Ende 2006 und dem Mittelalter – Nacherzählung des Festvortrags von Norbert Hanik am 21.12.2006

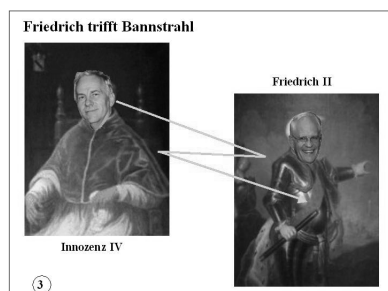


Prof. Norbert Hanik war im letzten Quartal anno 2006 – nach der Pensionierung von Prof. Hagenauer und vor dem Dienstantritt von Prof. Kötter – Interim-Chef des LNT. In seiner abschließenden Bilanz anlässlich der Weihnachtsfeier 2006 zog er einen Vergleich zwischen diesem, seinem Interregnum und dem der Jahre 1245 – 1273, eine Zeit, die von Historikern die „kaiserlose“ genannt wird und die man manchmal auch als die schreckliche Zeit bezeichnet (1).

Wir veröffentlichen hier seinen bebilderten Vortrag etwas aktualisiert und um einiges verkürzt, auch was Zahl und Inhalt seiner Folien angeht.

Wir bitten die schlechte Bildqualität aufgrund der extremen Verkleinerung zu entschuldigen, ebenso manche Unschärfe bezüglich historischer Daten.

Vielleicht sollten wir darauf hinweisen, dass dieser letzte Beitrag des Tätigkeitsberichtes als Glosse zu verstehen ist. Natürlich verfälscht der Vergleich zwischen dem Alltag am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) und dem tiefsten Mittelalter die Tatsachen. Überspitzungen sind durchaus gewollt, Kränkungen dagegen nicht. Sollten solche passiert sein, bitten wir um Entschuldigung. Norbert Hanik und Günter Söder



(2) Wir befinden uns im Jahr 1245. Der Staufer Friedrich II (rechts zwei Archivbilder, links der Darsteller Joachim Hagenauer, unten eine seiner Burgen in Italien) ist schon seit 25 Jahren deutscher Kaiser, fühlt sich überaus sicher und protestiert gegen die katholische Lehrmeinung.

(3) Papst Innozenz IV (Klaus Eichin) wird missgelaunt und spricht im Jahr 1245 gegen den Kaiser den Bann aus. Friedrichs Pendant am LNT regiert noch zwei Jahre eingeschränkt weiter (nur mehr MSCE) und widmet sich humangenetischen Studien.

(4) Widerstrebende Kräfte versuchen, das Reich neu zu ordnen: Neben der Geistlichkeit (Innozenz IV) auch die Fürsten (Ottokar von Böhmen) und das Bürgertum, vertreten durch den Vorsitzenden des Rheinischen Bundes (Gert Hauske).

(5) Die Standesvertreter können sich jedoch nicht einigen und wählen zwei Könige gleichzeitig: Richard von Cornwall (Norbert Hanik) und (6) Alfons von Kastilien in Gestalt von Günter Söder.

(7) Eine wichtige Frage ist: Wie steht es um das Geblüt der beiden Könige? Richard von Cornwall hat völlig diffuse Verwandtschaftsverhältnisse. Eine Blutsverwandtschaft zu Friedrich II ist nicht gegeben.

(8) Alfons von Kastilien ist dagegen ein Neffe von Friedrich II. und Urenkel des früheren Kaisers Friedrich I. Barbarossa (sehr authentisch verkörpert durch Hans Marko), den jeder von uns im Geschichtsunterricht als Rotbart kennengelernt hat. Er ist damit echter Markomanne.

(9) Beide – Richard und Alfons – haben nicht die Kraft, das Reich zusammenzuhalten. Sie mögen gute leitungsgebundene Übertragungstechniker sein, aber sie sind keine global denkenden Wissenschafts-Manager wie Friedrich I und II: Entsprechend führungslos taumelt das Reich durch die Geschichte!

(10) Das Reich ist von inneren Kämpfen zerrissen, überall herrscht Misstrauen, Raub und Verderben. Diese furchtbare führungslose Zeit dauert im Mittelalter 25 Jahre.

(11) Da erscheint ein leichter Hoffnungsschimmer am schwarz-grauen Himmel. Ein Wunder geschieht!

(12) Die deutschen Fürsten einigen sich auf eine Wahlkommission – ähnlich eines Berufungsausschusses. Man erkennt auf der Folie unten den Vorsitzenden Josef A. Nossek und dann im Uhrzeigersinn die Professoren Günther, Eberspächer, Diepold, Schlichtmann, Rigoll und Koch.

(13) Man wählt Rudolf von Habsburg (Ralf Kötter) zum König, dessen Burg in der Schweiz im Bezirk Brugg liegt. Rudolf reist unverzüglich mit seiner Gemahlin Adelheid an.

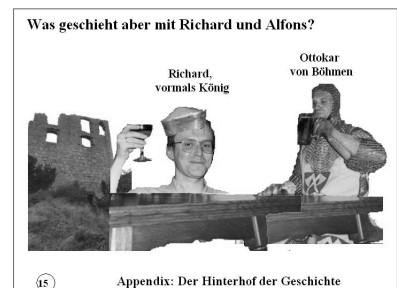
(14) Sofort eint Rudolf das Reich, schlägt Ottokar von Böhmen in der Schlacht von Dürnkrut und es beginnt die Jahrhunderte währende Regentschaft des Hauses Habsburg.

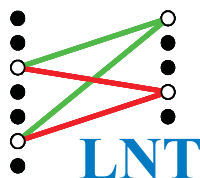
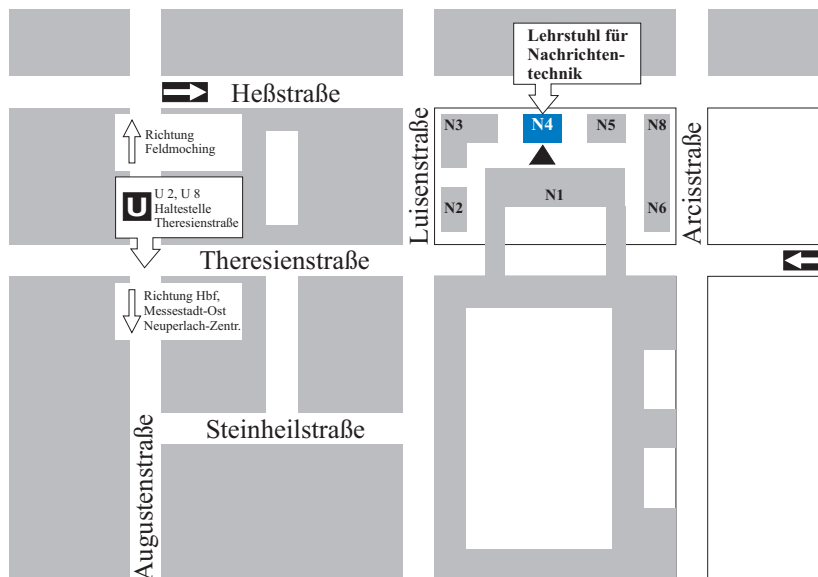
(15) Was aber geschieht mit Richard und Alfons? Richard zettelt mit Ottokar von Böhmen einen Aufstand gegen Rudolf von Habsburg an, verliert die Schlacht und danach jeden Ehrgeiz. Seine Spuren verlieren sich in den Wäldern Brandenburgs.

(16) Alfons versucht es mit Heiratspolitik, auch bei Adelheid (siehe 13), bleibt aber wieder erfolglos. Er beginnt eine zweite Karriere als der Raubritter Heinz vom Stein in seiner Burg an der Alz, ganz in der Nähe der Besitztümer des früheren LNT-Verwalters Gottfried Binkert.

(17) Papst Innozenz IV wird Vater zweier schöner Töchter (im Bild nur Doris Dorn). Diese können leider seine Erbfolge nicht antreten.

(18) Fazit: Was lernen wir aus der Geschichte? Das Dunkel der Nacht endet immer (meist) im hellen Licht!





Lehrstuhl für Nachrichtentechnik
 Institut für Informations- und Kommunikationstechnik
 Technische Universität München
 Arcisstr. 21, D-80290 München
 Tel.: (+49) 89 28 92 34 66
 Fax: (+49) 89 28 92 34 90
 E-mail: ralf.koetter@tum.de
 URL: <http://www.LNT.ei.tum.de>