

INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECHNIK UND HOCHFREQUENZTECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Forschungsaktivitäten
2004 – 2008

Research Activities
2004 – 2008



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



INSTITUT FÜR
NACHRICHTENTECHNIK UND
HOCHFREQUENZTECHNIK

*Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 25/389, A-1040 Wien
Tel. Nr. (01) 58801-38901*

VORWORT

Seit Oktober 2006 bin ich schon am Institut und freue mich nun, Ihnen mit dieser Broschüre einen anschaulichen Überblick über die laufenden Forschungsaktivitäten, die Lehre und Kooperationen des Instituts für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik der TU Wien zu geben.

Im Rahmen des Studienplans Elektrotechnik wirken wir ab dem 4. Semester an der Ausbildung der Studentinnen und Studenten der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik mit. Der Schwerpunkt liegt im Masterstudium „Telekommunikation“. Neben einem umfangreichen Pflichtlehrprogramm bieten wir, unterstützt durch außeruniversitäre Lehrbeauftragte, Wahllehrveranstaltungen in praktisch allen Bereichen der Nachrichtentechnik an. Mittels Englischkursen und englischsprachigen Lehrveranstaltungen fördern wir die Sprachkenntnisse der Studierenden an der Elektrotechnik. Qualifizierte Lehre braucht eine solide Vernetzung mit der Forschung. In diesem Sinne beteiligen sich Studierende, die an ihrer Diplomarbeit oder Dissertation arbeiten auch intensiv an der Bearbeitung von Forschungsprojekten und sind dabei in vielen Fällen mit aktuellen industrienahen Fragestellungen konfrontiert.

Die Schwerpunkte unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegen auf aktuellen Gebieten der Nachrichtentechnik, der Signalverarbeitung, der Hochfrequenztechnik, des Mobilfunks und der optischen Nachrichtentechnik. Die folgenden Abschnitte dieses Berichtes beschreiben die wichtigsten Arbeitsbereiche und geben einen Überblick über das breit gestreute Spektrum unserer Forschungsarbeiten. Der Überblick zeigt,

- dass unsere Arbeiten von grundlegenden Untersuchungen bis zu konkreten Schaltungs- und Systementwicklungen reichen, und somit eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und praxisorientierter Forschung bilden,
- dass wir uns um einen hohen Grad an wissenschaftlichem Austausch zwischen scheinbar weit auseinanderliegenden Forschungsgebieten bemühen.

Seit Oktober 2006 vertrete ich das Fach „Flexible Funkssysteme“ mit Schwerpunkten in den Bereichen „Funkssysteme für Verkehrstelematik“ und „ultrabreitbandige Funkssysteme“. Ich freue mich sehr, dass wir Univ. Prof. Dr. Norbert Görtz seit September 2008 als neuen Professor für „Multimediale Signalverarbeitung“ am Institut gewinnen konnten.

Neben den erwähnten Neubesetzungen, hat das Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik auch Pensionierungen und Emeritierungen zu vermerken: O.Univ.Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr. h.c. Ernst Bonek ging als maßgeblicher Initiator von Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Mobilfunks in Österreich im Mai 2004 in Pension. Im September 2004 folgte ihm Univ.Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Weinrichter, welcher herausragende, wissenschaftliche Leistungen in der Nachrichtentechnik, insbesondere auf dem Gebiet der Übertragungstechnik, erworben hat. 2006 emeritierte O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Mecklenbräuker, der die digitale Signalverarbeitung intensiv betrieben hat, und zuletzt emeritierte 2007 O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Walter Leeb, Pionier der optischen Weltraumkommunikation. Ich bedanke mich herzlich für das herausragende Engagement nicht nur in den vergangenen, sondern auch in den aktuellen Jahren, sowie für die noch immer bestehende und wertvolle Verbundenheit mit diesem Institut.

Die heute so vehement geforderte Öffnung der Universitäten für wirtschaftliche Aspekte haben wir bereits seit mehreren Jahren vollzogen: So wird beispielsweise deutlich mehr als die Hälfte unserer wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert. Im Zuge dieser Vernetzung von Forschung und Wirtschaft war unser Institut maßgeblich an der Gründung des K-plus Kompetenzzentrums „Forschungszentrum Telekommunikation Wien (ftw.)“ beteiligt. Seit Anfang 2008 ist das ftw. ein K1 Zentrum im Rahmen des COMET Programms. Unser Institut ist der größte der dort mitwirkenden universitären Partner.

Unseren nationalen und internationalen industriellen Kooperationspartnern, unseren öffentlichen Auftraggebern, dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), dem Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF), der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) und der Europäischen Kommission danken wir für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Abschließend möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die erbrachten Leistungen und ihr Engagement bedanken, verbunden mit dem Wunsch zur weiteren fruchtbaren Zusammenarbeit.

Wien, im April 2009



Christoph Mecklenbräuker
Institutsvorstand



Das **Forschungszentrum Telekommunikation Wien (ftw.)** ist ein national führendes und international anerkanntes Zentrum zur Erforschung und Entwicklung von Technologien für die Kommunikationssysteme der Zukunft.

Die Initiative wird als K1-Zentrum im Rahmen des österreichischen Kompetenzzentrenprogramms COMET von Bund und Land Wien gefördert und weiter ausgebaut.

Das ftw. öffnet Menschen und Unternehmen in Europa das Innovationspotenzial, das neuen Technologien für Kommunikation innewohnt. Die Erfolge des ftw. stehen für die Attraktivität und Stärke des Wirtschafts- und Wissenschaftsstandortes Wien im internationalen Wettbewerb um Wissen und Talente.



Über mobilkom austria

mobilkom austria ist Österreichs führender Mobilfunkbetreiber und das erfolgreichste Unternehmen der Telekom Austria Gruppe. Zu mobilkom austria gehören die Marken A1, bob und RED BULL MOBILE. Das 1996 gegründete Unternehmen hatte im Jänner 2009 4,5 Mio. Kunden und einen Marktanteil von 42,5 %. Im Geschäftsjahr 2008 erwirtschaftete mobilkom austria einen Umsatz von EUR 1.668,0 Mio., ein bereinigtes EBITDA von EUR 600,7 Mio. und ein Betriebsergebnis von EUR 352,3 Mio. Neben mobilkom austria umfasst die mobilkom austria group velcom (Weißrussland), Mobiltel (Bulgarien), Vipnet (Kroatien), Si.mobil (Slowenien), mobilkom liechtenstein (Liechtenstein) Vip mobile (Serbien) und Vip operator (Mazedonien). 8.383 MitarbeiterInnen betreuen knapp 18 Mio. Kunden in acht Ländern.

Soziales Engagement und Sponsoring im Bildungsbereich, Sicherheit und Umweltschutz haben bei mobilkom austria einen großen Stellenwert. Das Engagement von mobilkom austria basiert auf dem Partnerschaftsgedanken und Know-how-Transfer - bei diesen Kooperationen steht nicht das Sponsoring im Vordergrund, sondern die gemeinsam realisierten Projekte. Neben dem sozialen Aspekt steht auch das Thema "Zukunft der Gesellschaft" im Mittelpunkt dieser Aktivitäten. Große Kultur- und Sportveranstaltungen unterstützt mobilkom austria unter der Marke A1. mobilkom austria ist auch einer der attraktivsten Arbeitgeber Österreichs, was auch wieder die Teilnahme an Great Place to Work bestätigt: bereits zum 2. Mal ist mobilkom austria bester Arbeitgeber in der Telekommunikationsbranche.

Weitere Informationen: www.mobilkomaustria.com/de/unternehmen und www.a1.net

PREFACE

I joined the institute in October 2006 and time has really flown by since then.

Now, I am glad to present this brochure which illustrates our current research activities, teaching, and co-operations at the Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik (Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering) at Vienna University of Technology.

Within the curriculum Electrical Engineering we contribute to the academic training of the electrical engineering students from the fourth semester onwards, most prominently in the Master-level curriculum for students specializing in "Telecommunications". We offer courses covering the full range of subjects in state-of-the-art communications and radio-frequency engineering, in some courses assisted by external lecturers. We promote the language abilities of our students by offering English language courses and by teaching several technology-related courses in English. Our students working on their diploma thesis or dissertation contribute considerably to the research results of this institute. Here they are confronted with engineering problems of immediate economic interest, which they deal with in teams.

Our research and development emphasizes several specific fields in telecommunications: signal processing, radio-frequency engineering, mobile communications, and optical communications. The following sections of this brochure describe the most prominent activities in some detail. The selected examples attempt to give an impression of the broad spectrum of our research projects. The overview shows

- that our work ranges from fundamental research to the development of circuits and systems,
- and that we strive for the exchange of scientific expertise between seemingly diverse topics.

Since October 2006, I am responsible for "Flexible Wireless Systems" focusing on "wireless systems for traffic telematics" and "ultra-wideband radio". I am very glad that Norbert Görtz accepted the position of full professor in September 2008. He will advance the research and teaching in the field "Multimedia Signal Processing".

Apart from these changes, the Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering also notes several retirements. O.Univ.Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr. h.c. Ernst Bonek, the leading initiator of research and teaching in the field of mobile communications in Austria, retired in May 2004. In September 2004 Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Weinrichter, who has advanced the state-of-the-art of transmission theory and coding. Since 2006, O.Univ.Prof. Dipl.-Ing.Dr.techn. Wolfgang Mecklenbräuer, a pioneer in digital signal processing, is an emeritus at the institute. Finally, in 2007, O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Walter Leeb, a leading innovator in optical communications for space-born applications. I would like to cordially thank them for their outstanding engagement through all these years and I am grateful for their ongoing solidarity with our institute.

Anticipating today's call for the universities' opening to economically relevant topics, we finance more than half of our staff from outside sources. We also have been the driving force for founding the Austrian K-plus center of excellence "ftw. Forschungszentrum Telekommunikation Wien" (ftw. Telecommunications Research Center Vienna). Since beginning of 2008, ftw. has become a K1 center within the COMET framework and our institute is the largest university partner.

We would like to express our thanks to our sponsors and partners in Austrian and international industry, to the Austrian public, to the Austrian Science Fund (FWF), to the Vienna Science and Technology Fund (WWTF), to the European Space Agency (ESA), and to the European Commission for successful cooperation.

Concluding, I would like to thank all colleagues for their most valuable efforts and engagement for our institute and I am looking forward to continued fruitful co-operation.

Vienna, April 2009



Christoph Mecklenbräuer
Head of Institute

Laser Scanners for airborne, terrestrial,
mobile & industrial applications

RIEGL

Innovation in 3D

- Online Full-Waveform Analysis
- Complete Digital Processing
- Pulse Repetition Rates up to 200 kHz



Bringen Sie
der Technik
das LEBEN bei.

Für Visionäre
naturwissenschaftlich-
technischer Studien-
richtungen

WIR MACHEN DAS LEBEN LEICHTER und stellen die Grenzen des Heute in Frage. Der Alltag wird dabei zum Ausgangspunkt unserer Ideen. Infineon Technologies gehört zu den weltweit führenden Herstellern für Halbleiter- und Systemlösungen in den Bereichen Automobil-, Industrieelektronik und Multimarket sowie Kommunikation. Weltweit sind unsere hoch qualifizierten Mitarbeiter/innen tätig um diese Leistungshalbleiter zu entwickeln und zu produzieren.

NEUGIERIG auf die High-Tech Spitze?

Wenn Sie in einem internationalen und dynamischen Team mitarbeiten und an der Entwicklung der neuesten Technologien teilhaben wollen, dann sind Sie bei uns genau richtig. Wir setzen auf Ihre Fähigkeiten und Talente und darauf, dass Sie Ihren Blickwinkel verändern. Ob als Praktikant/in, Diplomand/in oder Absolvent/in - in unseren internationalen Teams lernen Sie, Antworten für die Halbleitertechnologie von übermorgen zu finden.

WIR BIETEN IHNEN aufgrund umfassender weltweiter Netzwerke ausgezeichnete Entwicklungsmöglichkeiten in einem international erfolgreichen Unternehmen.

LERNEN SIE UNS KENNEN! Bewerben Sie sich am besten noch heute online, für eine interessante Stelle in Villach, Graz, Klagenfurt oder Linz.

www.infineon.com/careers – offene Stellen für Absolvent/innen und Erfahrungsträger aus der (Halbleiter-)Industrie

www.infineon-jobs.com/students – offene Stellen für Student/innen

Infineon Technologies Austria AG • Human Resources
Siemensstraße 2 • 9500 Villach
Recruiting.Austria@infineon.com

www.infineon.com/careers



RIEGL
LASER MEASUREMENT SYSTEMS

RIEGL LMS GmbH, A-3580 Horn, Austria, office@riegl.co.at

RIEGL USA Inc., Orlando, Florida, info@rieglusa.com

RIEGL Japan Ltd., Tokyo, Japan, info@riegl-japan.co.jp

www.riegl.com

INHALT CONTENTS

VORWORT	1
PREFACE	3
IMPRESSUM	5
SIGNALVERARBEITUNG IN DER MOBILEN KOMMUNIKATION SIGNAL PROCESSING IN MOBILE COMMUNICATIONS	7
OPTISCHE DATENÜBERTRAGUNG OPTICAL DATA TRANSMISSION	9
ROBUSTE UND VERLÄSSLICHE KOMMUNIKATIONSSYSTEME ROBUST AND RELIABLE COMMUNICATION	12
FLEXIBLE FUNKSYSTEME FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS	14
RAPID PROTOTYPING AND „TESTBEDDING“	16
MULTIMEDIA SYSTEMS	17
THEORIE DER TELEKOMMUNIKATION COMMUNICATION THEORY	21
SIGNALVERARBEITUNG SIGNAL PROCESSING	24
HOCHFREQUENZTECHNIK RADIO FREQUENCY ENGINEERING	28

IMPRESSUM

Erscheinungsjahr 2009

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:
Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 25/389, A-1040 Wien

<http://www.nt.tuwien.ac.at>

Für den Inhalt verantwortlich: Prof. Dr. Christoph Mecklenbräucker
Sekretariat: Andrea Engelmaier
Umschlagfoto: Dipl. Ing. Christian Mehlführer
Gestaltung und Satz: Ing. Bernhard Wistawel
Druck: Ferdinand Berger & Söhne GmbH, 3580 Horn

SIGNALVERARBEITUNG IN DER MOBILEN KOMMUNIKATION SIGNAL PROCESSING IN MOBILE COMMUNICATIONS

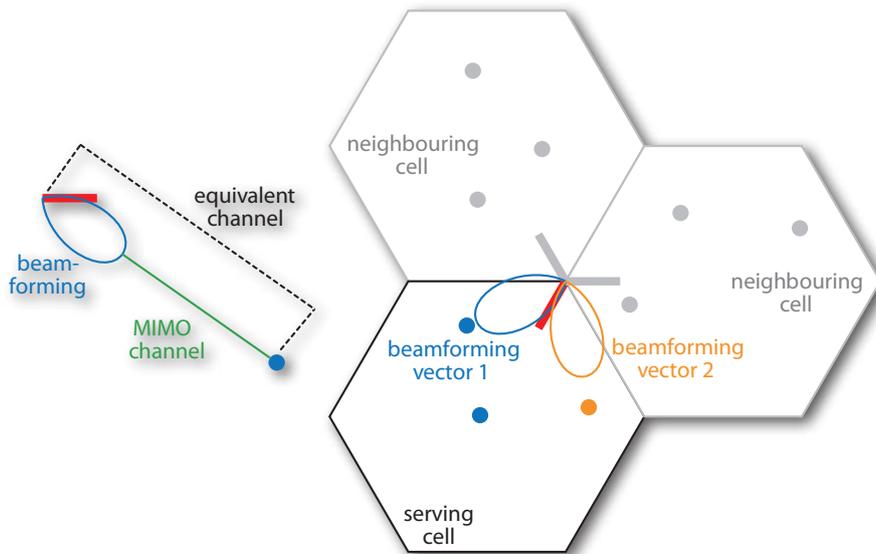


Figure 1: MIMO HSDPA introduces a spatial structure of the interference due to the precoding.

Die Signalverarbeitung ist ein Kerngebiet der Forschung in der mobilen Kommunikation. Die letzten Jahre waren durch eine explosionsartige Entwicklung von Neuerungen gekennzeichnet, und die Forschung im Bereich der Signalverarbeitung eröffnet in immer weiteren Anwendungen und Diensten (beispielsweise interaktive Multimedia-Anwendungen oder das mobile Internet) neue Möglichkeiten. Die „mobile communications group“ des Instituts für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik (INTHFT) erforscht Algorithmen am physical layer, betreibt Netzoptimierung, und entwickelt Verbesserungen für Multimedia Services.

Messungen an Live-Netzen dienen als Basis für alle weiteren Untersuchungen, insbesondere für die Modellierung und die Optimierung. Wir entwickeln system-level und physical-layer Modelle, welche in Simulatoren zum Einsatz kommen um das Verhalten von spezifischen Algorithmen numerisch zu testen bzw. die Leistung eines gesamten Netzes zu untersuchen. Dementsprechend können wir die Eigenschaften moderner Kommunikations-Netze (siehe Bild 1) näher untersuchen und optimierte Signalverarbeitungs-Algorithmen entwickeln, welche die Gesamtleistung der Netze deutlich verbessern können. Im Moment legen wir in der Forschung einen Schwerpunkt auf den Bereich 3GPP Long Term Evolution (LTE), da die Struktur dieser neuen Kommunikationstechnologie viele Möglichkeiten für Verbesserungen gegenüber den „klassischen“ Architekturen offen lässt.

Zusätzlich dazu werden seit einigen Jahren in der Standardisierung die Einschränkungen durch das Open Systems Interconnection Basic Reference (OSI) Modell aufgeweicht. Der Funkkanal benötigt ein flexibles Design der Funkübertragung, insbesondere der Schichten eins bis drei (physical layer – network layer)

um die Übertragung möglichst gut an die Gegebenheiten anzupassen. Unsere Gruppe identifiziert potentielle cross-layer Optimierung und versucht diese durch Algorithmen mit Kanal- und Inhalts-Kennntnis auszuschöpfen. Multimedia Signalverarbeitungs-Verbesserungen, insbesondere Video-Übertragung und Codierungs-Optimierung, werden untersucht, um die subjektive Qualität des Endnutzers eines mobilen Services in den heutigen Netzen zu verbessern. Die Auswirkungen der von uns entwickelten Algorithmen werden sowohl durch Simulationen als auch durch subjektive Qualitäts-Tests überprüft.

Die „mobile communication group“ des INTHFT ist außerdem in der einmaligen Situation mit einem führenden Netz-Betreiber, der mobilkom Austria Gruppe, zusammenzuarbeiten. Wir haben die Möglichkeit durch das METAWIN System (entwickelt durch das INTHFT, ftw, mobilkom Austria Gruppe und Kapsch) Messungen im live Netz durchzuführen. Somit können wir den Paket-basierenden Verkehr im Netz, die Performance der Empfänger sowohl im live-Netz als auch unter kontrollierten Test-Bedingungen, und Fehler-Verläufe des physical layers messen.

Die Mobile Kommunikation ist ein sehr breit angelegtes Gebiet der nachrichtentechnischen Forschung und es eröffnet unzählige Möglichkeiten sich kreativ in die wissenschaftliche Gemeinschaft einzubringen. Gerade die Zusammenarbeit mit Netz-Betreibern und Geräte-Herstellern ist eine Herausforderung für unsere Gruppe, allerdings sind diese Kontakte sehr fruchtbar in Hinblick auf die praktischen Erfahrungen und die Forschungs-Möglichkeiten.



Signal processing is a key research area in mobile communications. The recent years have known a real explosion in research addressing different aspects of mobile communications signal processing. This area is continuously expanding with emerging applications and services such as interactive multimedia and Internet. The mobile communications group of the Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering (INTHFT) researches physical layer algorithms, investigates network optimizations, and develops multimedia signal processing enhancements.

Additionally, since some years, wireless networks – including LTE – start to soften the strict bounds of the Open Systems Interconnection Basic Reference Model (OSI model). The wireless channel needs a flexible design, in particular of the layers one to three (physical layer - network layer) in order to adopt as good as possible to it. Our group identifies potential cross-layer optimization gains and exploits them by means of channel- and content-aware algorithms. Multimedia signal processing enhancements, including video transmission and encoding optimization, are investigated to enhance the subjective quality of

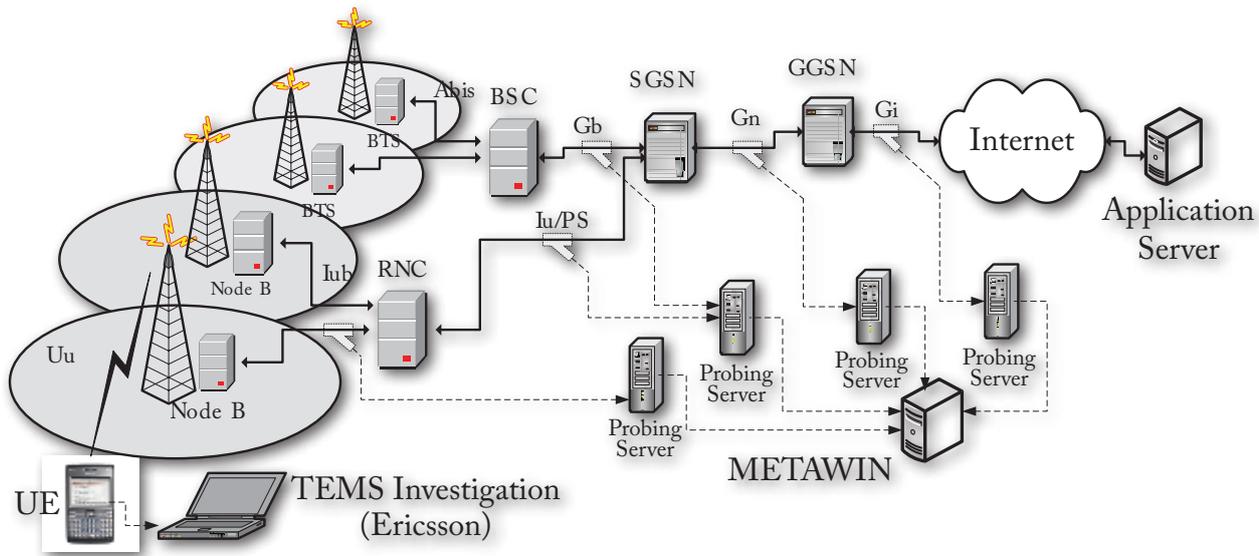


Figure 2: The METAWIN system can be utilized to perform measurements in different levels of a wireless network.

Measurements serve as a strong basis for all consecutive investigations, including modelling and optimization. We develop system-level and physical layer models, which are the groundwork for simulators that are used to numerically assess the behaviour of specific signal processing algorithms, or the overall network performance. We consequently investigate the special characteristics of modern communication networks (see Figure 1) and propose enhanced signal processing algorithms that significantly improve the overall performance. Our current research puts a special emphasis on 3GPP Long Term Evolution (LTE). The new network structure allows for many improvements over the “classical” architectures that have been used so far.

the mobile-service user of today’s networks. The implications of these algorithms are tested by means of simulations and mean opinion score (MOS) quality tests.

The mobile communication group of the INTHFT is in the unique position to have a close cooperation with a leading mobile network operator - the *mobilkom Austria group*. We have the possibility to conduct measurements in the live network by utilizing the METAWIN system (see Figure 2), developed by INTHFT, ftw, *mobilkom Austria group*, and Kapsch, thus monitoring packet switched traffic in mobile core networks, receiver performance in the live network or in controllable test-network conditions, and error traces on the physical layer.

Mobile communications is an extensive, diversified field of research that offers plenty of possibilities to contribute creatively to the scientific community. The cooperation with network operators and equipment vendors is challenging, yet very profitable in terms of practical experience and research possibilities.

OPTISCHE DATENÜBERTRAGUNG OPTICAL DATA TRANSMISSION

Das Internet wäre ohne optische Datenübertragung undenkbar: Nur mit dieser Technologie lassen sich die ungeheuren Datenmengen transportieren, die eine wesentliche Grundlage unserer heutigen Gesellschaftsform darstellen. Dabei werden Glasfasern als Lichtleiter eingesetzt, die netzartig den ganzen Erdball überziehen, sei auf den Kontinenten oder in den Tiefen der Ozeane. Laserstrahlen überbrücken aber auch nicht nur weitaus größere Entfernungen, etwa bei Nachrichtenverbindungen zwischen Satelliten oder von Raumsonden, sondern auch wenige Millimeter lange Abstände zwischen Bausteinen in Computern.

WELLENLÄNGENMULTIPLEX-SYSTEME

Die Übertragungsdistanz und die Übertragungskapazität von Glasfasersystemen lassen sich durch die gleichzeitige Verwendung mehrerer Lichtwellenlängen (Wellenlängenmultiplex, WDM) steigern. In Zusammenarbeit mit Bell Labs, Alcatel-Lucent konnten wir neue Rekord-Übertragungskapazitäten in einem System mit einem vergleichsweise großem Kanalabstand von 20 nm (CWDM) erreichen. Die dabei eingesetzten Laser mit vertikalem Resonator (VCSELs) erlauben nach elektronischer Entzerrung und dem Einsatz fehlerkorrigierender Codierung (FEC) eine Kanaldatenrate von 10.7 Gbit/s. Durch die Verwendung dieser Komponenten wird es möglich sein, die Kosten von CWDM-Systemen deutlich zu senken.

LASER-ENDGERÄTE FÜR DIE WELTRAUMKOMMUNIKATION

In Zusammenarbeit mit Oerlikon Space (CH) untersuchten wir Möglichkeiten, existierende Endgeräte zur Laserkommunikation für einen Betrieb bei einer Wellenlänge von 1,55 μm zu modifizieren. Typische Anwendungen für ein solches Terminal wären zum Beispiel eine optische Kommunikationsverbindung zwischen Satelliten, zwischen einer Bodenstation und einem Satelliten, sowie zwischen einem unbemannten Luftschiff (HAP) oder Stratosphärenflugzeug (UAV) und einem Satelliten. Bei der Dimensionierung solcher Systeme berücksichtigten wir nicht zuletzt auch die Auswirkungen atmosphärischer Turbulenz auf den Laserstrahl, welche zu einer verringerten Empfangsleistung sowie zu Leistungsschwankungen am Empfänger führen können.

KRYPTOGRAPHIE MIT VERSCHRÄNKTEN PHOTONEN

In Zukunft soll unter Zuhilfenahme einer Quelle von verschränkten Photonen an Bord der Internationalen Raumstation ISS für kryptographische Zwecke ein

Schlüssel an zwei Bodenstationen verteilt werden. Wir hatten die dafür notwendigen Adaptierungen von bereits entwickelten, klassischen optischen Sendempfern aufzuzeigen. Dies betraf vor allem die automatische Nachführung der optischen Antennen unter Benutzung eines Laserleitstrahls, die Sicherstellung einer stabilen Referenzrichtung für die Polarisationsmessung in den Quantendetektoren, die Abschätzung der Streckendämpfung unter Bedachnahme des Einflusses der Atmosphäre und die Erstellung eines Ablaufplans während der nur wenige Minuten dauernden Sichtverbindung zwischen ISS und Bodenstationen.

INFRAROT FASERN

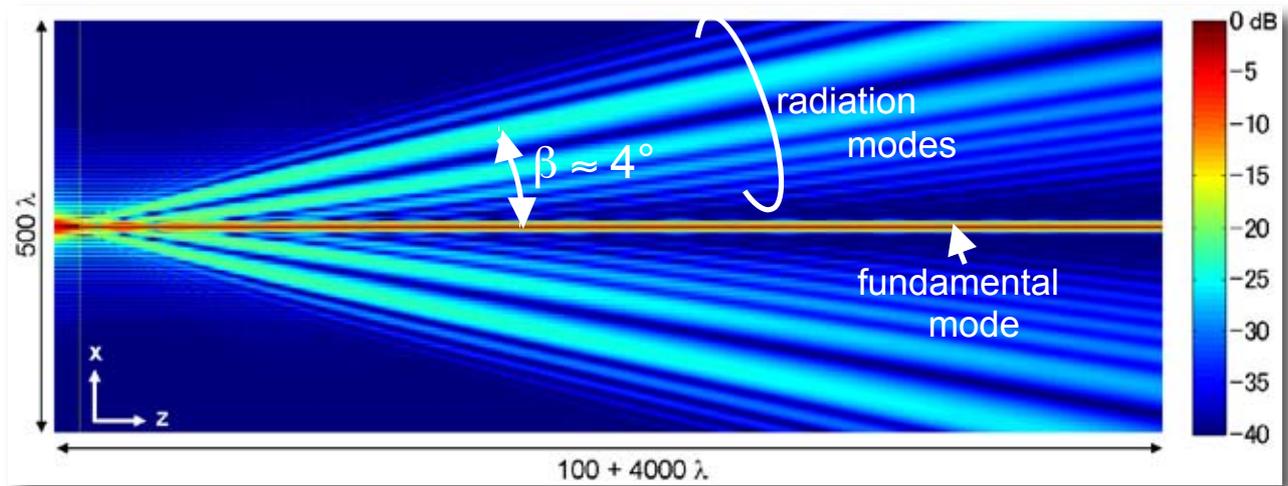
Für die Europäische Weltraumbehörde ESA untersuchten wir die Eigenschaften von optischen Wellenleitern für den Spektralbereich von 2 μm bis 20 μm . Im Hinblick auf einen Einsatz in interferometrischen Instrumente, wie sie etwa bei der DARWIN Mission der ESA geplant sind, testeten wir – vornehmlich bei Wellenlängen von 3,39 μm und 10,6 μm – Fasern aus Fluoridgläsern und Chalcogeniden, aber auch Hohlfasern. Besonders anspruchsvolle Messungen betrafen die Bestimmung der Faserdoppelbrechung und des Temperaturkoeffizienten der optischen Länge.

SINGLEMODE-FASERN ALS WELLENFRONTFILTER

Wir berechneten den Verlauf der Feldverteilung unmittelbar nach der Einkopplung eines fokussierten Laserstrahls in einen Einmoden-Lichtwellenleiter. Die genaue Kenntnis der Entwicklung des Grundmodus und der Abstrahlungsmoden entlang des Wellenleiters ist von allergrößter Bedeutung, wenn man eine Monomodefaser als räumliches Modenfilter einsetzen will. Solche Bauelemente wiederum stellen für das von der ESA geplante Projekt zur Erforschung extrasolarer Planeten mit Hilfe astronomischer Interferometrie eine Schlüsselkomponente dar. Dort müssen von unterschiedlichen Teleskopen stammende, axial überlagerte optische Felder eine in höchstem Maße gleiche Intensitäts- und Phasenverteilung aufweisen, bevor sie auf einer Photodiode interferieren. Das Durchlaufen einer Singlemode-Faser erzeugt genau diesen Zustand.

OPTISCHE LEITERPLATTEN

Die im Auftrag der Fa. AT&S untersuchen wir die Eignung von VCSELs (vertical cavity surface emitting lasers) und von Photodioden für die Realisierung von integrierten, optischen Verbindungen auf Leiterplatten. Bei diesem Konzept erfolgt die Lichtführung zwischen den auf einer Multilayer-Leiterplatte montier-



Development of the fundamental mode at the input facet of an optical single-mode waveguide. The input radiation is focused to the waveguide core.

ten elektro-optischen Bauelementen in einer dünnen Polymerschicht, in der mittels Zweiphotonenabsorption ein Wellenleiter eingeschrieben wurde. Unsere Aufgabe bei diesem Projekt der Austrian Nano-Initiative besteht in der nachrichtentechnischen Charakterisierung der Bauelemente bei der Wellenlänge von 850 nm und in der Ermittlung der maximalen Datenrate, die mit dieser Technologie zu erzielen ist. Bei typischen Leiterlängen von 10 cm lassen sich problemlos Datenraten von mehreren Gbit/s erreichen.



The Internet would be unthinkable without optical data transmission: Only this technology makes possible to transmit the enormous amount of data which is the very basis of today's society. To this end, a net of glass fibers covers our globe, not only on the continents but also in the depths of the oceans. Laser beams also bridge by far larger distances, e.g. for communication links between satellites and space probes, but also transfer data over a few millimeter when connecting electronic chips within computers.

WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX SYSTEMS

Both the transmission distance and the transmission capacity of glass fiber systems may be considerably increased by simultaneously employing several optical carriers, i.e. by wavelength division multiplexing (WDM). Together with Bell Labs, Alcatel-Lucent we demonstrated record transmission capacities in a system with a relatively large channel separation of 20 nm (CWDM). The VCSELs (vertical-cavity surface-emitting lasers) used permitted a per-channel data rate of 10.7 Gbit/s when applying electronic pre-distortion and forward error correction (FEC). This tech-

nique will drastically reduce system cost.

LASER COMMUNICATION TERMINALS FOR SPACE COMMUNICATION

In cooperation with Oerlikon Space AG (CH) we investigated the feasibility of modifying the design of existing free-space laser communication terminals such that components and subsystems at a wavelength of 1.55 μm can be used. Typical scenarios to which the terminals shall be tailored are inter-satellite links, links between satellites and ground, or links between satellites and high-altitude platforms (HAPs) or unmanned-aerial-vehicles (UAVs). When assessing the system performance we took into account disturbing effects of the turbulent atmosphere on the propagating laser beam which may result in loss of power and in intensity fluctuations at the receiver.

CRYPTOGRAPHY USING ENTANGLED PHOTONS

Using a source of entangled photons onboard the international space station (ISS), quantum key distribution to two ground stations for cryptographic purposes shall be demonstrated within the next decade. Our task within an international research project were the adaptations necessary if already developed "classical" optical transceivers were to be used in quantum communication systems. This included questions like automatic tracking of the optical antennas using a beacon laser, provisioning of a stable polarization reference for quantum detection, the calculation of link attenuation taking into account the influence of the atmosphere, and planning the time sequence during the short period of line-of-sight between the ISS and ground stations.

INFRARED FIBERS

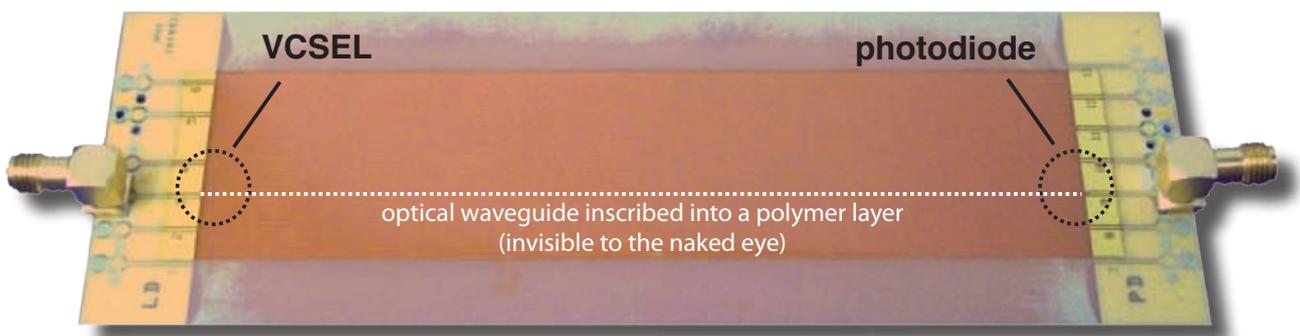
Within a research project for the European Space Agency ESA we investigated in detail the properties of fibers for the spectral region from 2 μm to 20 μm . Focusing on interferometric instruments, like ESA's DARWIN mission, we carried out a fiber test program at the wavelengths of 10.6 μm and 3.39 μm . The samples tested covered the whole range of currently available infrared fibers, including fibers made from fluoride glasses, from different chalcogenides, and even hollow fibers. The most ambitious measurements were those of birefringence and temperature coefficient of the optical path length.

SINGLE-MODE FIBERS AS WAVEFRONT FILTERS

We calculated the field distribution following the coupling of a focused laser beam into a single-mode waveguide. The exact knowledge of the development of the fundamental mode along the waveguide is of utmost importance when using a single-mode fiber as spatial mode filter. On the other hand, such a device is considered a key component required for ESA's intention to explore extra-solar planets employing astronomic interferometry. There, axially superimposed optical fields collected by telescopes have to exhibit highly identical amplitude distribution and phase distribution before they interfere on the surface of a photodiode. Propagating them through a piece of single-mode fiber achieves just this.

OPTICAL PRINTED CIRCUIT BOARDS

For the company AT&S we investigated the adequacy of VCSELs (vertical-cavity surface-emitting lasers) and of photodiodes for realising integrated optical connections on multi-layer circuit boards. With this concept, light guidance between the electro-optic devices occurs in a thin layer of a polymer, into which an optical waveguide has been inscribed using two-photon absorption. Our task within this project sponsored by the Austrian Nano-Initiative consists of characterising the devices involved with respect to their data transmission properties at a wavelength of 850 nm and in determining the maximum data rate that can be achieved with this technology. For the typical case of a waveguide length of 10 cm we could transmit easily data rates of several Gbit/s.



Photograph of experimental electro-optic board equipped with SMA connector interfaces

ROBUSTE UND VERLÄSSLICHE KOMMUNIKATIONSSYSTEME ROBUST AND RELIABLE COMMUNICATION

Die Globalisierung bringt einen rapiden Anstieg an Kommunikationsbedarf mit sich. Der begrenzte Bereich an verfügbarer Bandbreite hat die Regulierungsbehörden veranlasst die, bis jetzt üblichen strikten, Vorschriften abzuschwächen (Deregulierung der Telekommunikation). Dies hat jedoch ein vollkommen neues Szenario für Kommunikationssysteme geschaffen, welches einem militärischen Szenario sehr ähnlich ist. Ein Betreiber eines Kommunikationssystems hat keine Exklusivrechte auf die von ihm benötigten wichtigsten Ressourcen (Bandbreite und Zeit). Dies bedeutet, dass es zu Konfliktsituation zwischen Kommunikationssystemen kommt. Ein künftiges Kommunikationssystem muss entsprechend darauf vorbereitet werden. Diesem Umstand wird mit den „Robusten und verlässlichen Kommunikationssystemen“ Rechnung getragen. Die Globalisierung fordert einen hohen Grad an Flexibilität eines Kommunikationssystems ein um einen hohen Grad an Mobilität der Kommunikationspartner zu erreichen. Dies bedeutet, dass es ein flexibles Funksystem sein muss. Neben den Beeinträchtigungen durch die vielen anderen Teilnehmer sind auch noch Mehrwegestörungen und „man-made“ Noise (Dimmer, Haushaltsgeräte, usw.) und Kommunikation in Industriehallen mit starker elektromagnetischer Störung zu berücksichtigen. Immer mehr Interesse muss auf beabsichtigte Störung gelegt werden, da in Zukunft die bewussten Attacken (böswillig) auf eine Informationsübertragung zunehmen werden. Der schleichende Übergang von kommerziellen Störumgebungen zu quasi militärischen Störumgebungen wird unter dem Licht der Globalisierung, Deregulierung und dem dramatischen Anstieg an mobilen Teilnehmern bewusst. Die Flexibilität von robusten und verlässlichen Kommunikationssystemen garantiert die Anpassungsfähigkeit an noch nicht definierte Dienstkriterien (Zukunftssicherheit). Sie liefert auch einen großen Spielraum in der Harmonisierungsphase, wenn von verschiedenen Standards zu einem Weltstandard übergegangen wird.

Ein adaptiver Empfänger im herkömmlichen Sinne würde bei nicht zu schnellen und auch nicht zu gravierenden Kanaländerungen den optimalen Empfänger darstellen. Er ist jedoch in der Regel zu komplex und verbraucht, für den mobilen Einsatzbereich, zu viel Leistung. Ein robuster Empfänger benutzt keine (exakte) Kanalinformation und ist daher nur suboptimal. Berücksichtigt man aber die geringe Komplexität, den geringen Leistungsverbrauch und die Geschwindigkeit mit der er verlässliche Entscheidungen trifft, so ist er ein potentieller Kandidat für Anwendungen in der Informationstechnologie, wenn ein preiswertes Übertragungssystem in unbekannter Störumgebung gefordert wird.

Ein Kommunikationssystem, welches mit den obigen Anforderungen zu Recht kommt muss ein störungstolerantes (robuste) und verlässliches (reliable)

Kommunikationssystem (RRC) sein. An Anforderungen ist zu erwarten:

1. Toleranz gegenüber beliebiger Störzusammensetzung (schmalbandig bis breitbandig).
2. Toleranz gegenüber dem zeitlichen Auftretens der Störung (permanent bis impulsiv).
3. Hohe Verfügbarkeit (graduierte Leistungseinbuße, ein Totalausfall muss vermieden werden).
4. Geringe Komplexität (kaum fehleranfällig, hohe Ausfallssicherheit).
5. Geringer Leistungsverbrauch (ökonomisch im Energieverbrauch).
6. Preisgünstig (wirtschaftlich und ökonomisch im Betrieb).
7. Hohe Flexibilität (in einem weiten Bereich anpassbar an Diensteigenschaften, von denen man die meisten jetzt noch nicht kennt, flexible Zuteilung von Ressourcen, ökonomischer Betrieb eines mobilen terrestrischen Funknetzes)
8. Langlebig im Einsatz (ökonomischer Einsatz von Entwicklungskosten).

Die Einsatzgebiete für robuste und verlässliche Kommunikationssysteme sind: Terrestrische mobile Sprach- und Datenkommunikation, Telemetrie in industrieller Anwendung (z.B. Datenübertragung von rotierenden Maschinen zu einem ruhenden Empfänger), industrielle Fertigungsstraßen, Auto/Auto-Kommunikation, RFID, „man-made noise“ (Dimmer, Elektrogeräte im Haushalt, ...) bis zu noch nicht bekannten Anwendungen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den bisher bekannten Methoden keine akzeptable Lösung zu erreichen ist. Unser Lösungsansatz ist Nichtlinear, da die lineare Theorie ausgereizt ist und in der Literatur ausreichend dokumentiert ist. *Nichtlineare adaptive Transceiver* Konzepte sind viel versprechende Kandidaten zur Erfüllung der Ziele. Sie können einfach gestaltet werden (einfachen aber effizienten Algorithmen folgend) und ihre Struktur ändern. Die Gestalt der Nichtlinearität wird durch die immer vorhandenen Schwellennullstellen geregelt. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass für eine sehr spezielle Anwendung (einfacher und kostengünstiger digitaler Entwurf eines Korrelationsempfängers mit integrierter Störungsreduktion) gute Ergebnisse erreicht werden.



The globalization demands a rapid boost on mobile communications. The limited bandwidth in turn has forced the telecommunication standards to open the stringent regulations. This has led to the deregulation of the telecom market. The consequence for a communication system is that it is not (precisely) predictable in advance with which *type* of interference the system is confronted with. Up to know the communication engineers have put much effort to predict the interference (the channel state) as accurate as possible. The problems with prediction are well known (error in the estimate, time consuming, power consuming, complex algorithms, stability problems). If you know exact and in advance the channel state you can design the detection process accurately and you will reach an optimum solution for a predefined quality measure. In the future it will be much more complicated to continue this design philosophy because the interference will become more severe (the type of the interference will range in a wide span, the dynamic of the interference will be fast, the type of errors will range between single error events to burst error structure). Sources of interference range from permanent or pulsed AWGN to multipath interference for the single-user case and extend to multi-user interference, multi-cell interference, man-made noise to heavily electromagnetic polluted industrial environments. The quality of service range from simple voice communication to secure data-communication.

The goal of this investigation is to find a unique solution for all possible future challenges. This can be achieved if we accept some small degradation in the quality of service. This leads to the concept of robust and reliable communications in which the degradation of some predefined optimum quality measure is allowed. This means that the optimum point in a parameter space spreads out to form an acceptable volume. This drift from the optimum solution to a suitable solution (sub-optimum) opens the opportunity to design communication systems that have low power consumption, low complexity, a high degree of flexibility, highly availability and cheap. One aspect which will be more present in the future is intentional jamming. The movement from a commercial application to a military environment is apparent under the light of globalization and deregulation of the telecom market and a dramatic increase of users make the environment more hostile.

The point is that we have to change a complex design with a simple design with integrated interference reduction capabilities. Such a design philosophy is better prepared for future wireless challenges (we do not know now) if we can't predict the interference environment in advance.

The solution proposed in this project is in focusing on simple interference reduction algorithms which make no (less) assumptions about the interference type, composition and offers a great improvement in performance. The best suited tool for this task is to

use adaptive nonlinearities driven by threshold crossing information which is simple and fast and derived online. This solution method fits to the assumptions made above. The first result for robust and reliable communication systems for a very specific application (simple design of a digital correlation receiver) was very promising.

Possible applications for the proposed robust and reliable communication schemes range from terrestrial mobile voice- and data communication, telemetry in heavy electromagnetic polluted industrial production halls (data communications from a rotating machine to a nearby receiver), assembly lines to applications which are not known today.

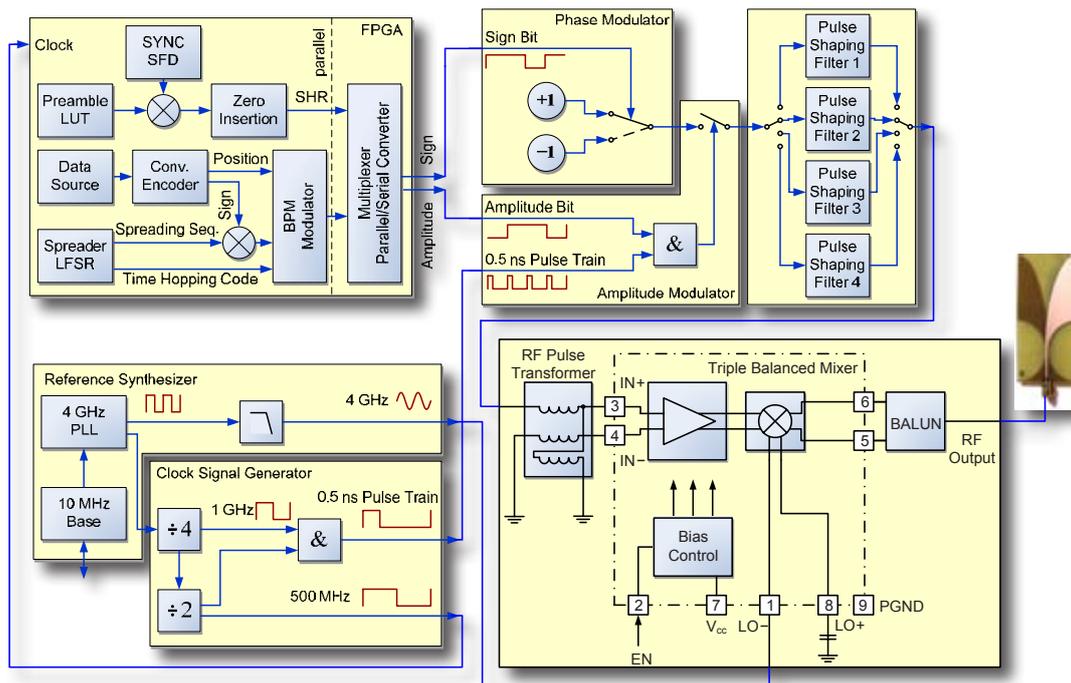
FLEXIBLE FUNKSYSTEME FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS

Eine über die vorhandene Funktechnologie hinausgehende Generation zukünftiger Funksysteme wird gegenüber UMTS, WLAN und WIMAX wesentliche Verbesserungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Datendurchsatz und Kostenstruktur anbieten müssen. Wir befassen uns daher mit neuen Modulations- und Empfängertechniken, deren Mehrbenutzerfähigkeit, sowie möglichen kostengünstigen Lösungen.

Im MASCOT Projekt im sechsten Rahmenprogramm der Europäischen Kommission werden neuartige Technologien für zukünftige Mehrbenutzer Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Funknetze erprobt. Zu Beginn des Projekts war über MIMO Endgeräte und Basisstationen in zellularen Netzen wenig bekannt. Das MASCOT Projekt befasst sich mit solchen Mehrbenutzer-MIMO Funksystemen. Die Verwendung von MIMO Antennentechnologie verspricht, unsere oben genannten, ehrgeizigen Ziele zu erreichen. Wir erwarten deutliche Verbesserungen hinsichtlich der spektralen Effizienz durch dynamische Ressourcenallokation unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslast, Vorkodierung und soft-output Sphere Decoding.

verfügbaren Frequenzspektrums ist es notwendig, dass lizenzierte Frequenzbänder spektral effizienter genutzt werden, um somit bei gleichbleibender Dienstgüte das gesamte Spektrum möglichst gut auszuschöpfen. Wesentliche Effizienzsteigerungen erwarten wir uns durch den Einsatz dynamischer Ressourcen-Zuteilungsverfahren, die die aktuelle Lastsituation berücksichtigen. Hier sehen wir einen nahtlosen Übergang von UMTS long term evolution und WIMAX hin zu cognitive radio mit Hilfe von software-defined radio Konzepten. Zusätzlich entwickeln wir im Zuge eines innovativen Projektes eine Hardware-Testumgebung, basierend auf dem Entwurf der IEEE Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Norm, um die Zuverlässigkeit der Kommunikation von Fahrzeugen untereinander und mit ihrer Umgebung zu erhöhen.

Großes Potential an Einsparung von Ressourcen, welche ein Kommunikationssystem in Anspruch nimmt, wird auch durch den Einsatz nichtlinearer Detektionsverfahren erreicht. Die Nichtlinearität wird an die Störzusammensetzung angepasst, so dass die Störung diskriminiert und die Information weitge-



Im Zusammenhang mit dem jüngsten Aufschwung an peer-to-peer und ad-hoc Netzen erlebt auch die direkte Funkkommunikation zwischen mobilen Teilnehmern eine Renaissance, insbesondere hinsichtlich der Kommunikation von Fahrzeuge untereinander. Kooperative Systeme sind im Straßenverkehr ein wichtiges Forschungsfeld geworden.

Hauptaugenmerk intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Verkehrstelematik liegt momentan bei Erhöhung der Verkehrssicherheit und der (spektralen) Effizienz. Aufgrund des limitiert

hend unberührt gelassen wird. Solche Kommunikationssysteme werden als störungstolerante Kommunikationssysteme bezeichnet.

Eine Familie von Funksystemen zeichnet sich durch extreme Breitbandigkeit bei gleichzeitig niedriger spektraler Leistungsdichte aus. Diese ultrabreitbandigen Übertragungsverfahren werden die Kommunikation zwischen elektronischen Geräten in Gebäuden revolutionieren und stören existierende schmalbandige Systeme nur wenig. Hier steht weniger die spektrale Effizienz, als vielmehr die Leistungs-

effizienz der Übertragungsverfahren im Vordergrund. Zugleich eignen sich ultrabreitbandige Übertragungssysteme durch ihr inhärent hohes Zeit-Bandbreite-Produkt für Lokalisierungsanwendungen. Ultrabreitbandige Systeme ermöglichen innovative Anwendungen, die Lokalisierungs- und Übertragungsdienste kombinieren.

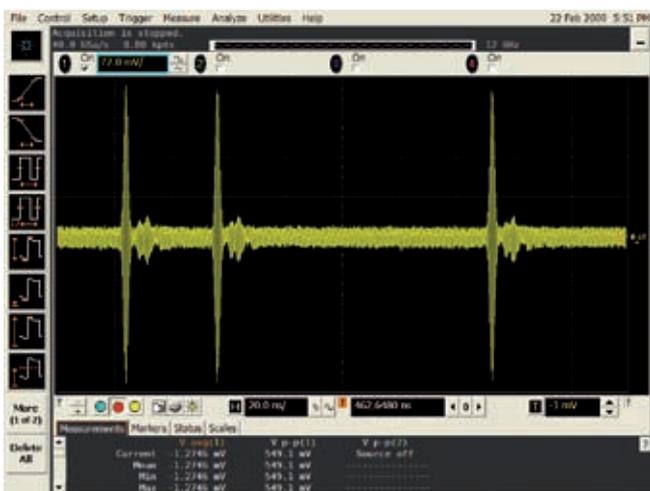


Future wireless systems need to outperform the Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Wireless Local Area Networks (WLAN), and Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) with respect to availability, throughput, and costs. Therefore, we search for new modulation and receiver techniques, their multiuser capabilities, as well as low cost solutions. The MASCOT project within the 6th framework programme of the European Commission designs and implements novel techniques in the area of multi-user Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) wireless systems. The use of MIMO antenna technology has been recognized to hold the promise of achieving these ambitious goals. At the beginning of the project, little was known about MIMO terminals and base stations in a cellular multi-user context. The MASCOT proposal addresses such multi-user MIMO wireless systems. We expect major improvements in spectral efficiency from the use of dynamic resource allocation which takes into account the current system load, advanced precoding techniques, and soft-output sphere decoding.

Direct radio communication between mobile entities enjoys a renaissance in connection with the recent interest in peer-to-peer and ad-hoc networks. This is especially true for car-to-car communications. Traffic telematics applications are currently under intense research and development for making transportation safer, more efficient, and cleaner. Communication systems which provide “always on” connectivity to highly mobile surface traffic (cars and trains) are urgently required for developing traffic telematics applications and services. In an innovation project, we focus on a hardware testbed for the improvement of car-to-infrastructure and car-to-car communication systems using multiple antennas to increase the reliability of vehicular wireless networks based on the draft IEEE standard Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). Co-operative systems have become an important field of research in view of applications in traffic telematics.



One family of radio systems features extreme bandwidths and low power spectral densities. These ultrawideband (UWB) transmission techniques will revolutionise the communication among electrical and electronic devices and cause little interference to existing small bandwidth systems. Key application area will be low-power sensor networks and body area networks. Here, the spectral efficiency is of less importance than the power efficiency of the transmission scheme in short-range links. Further, UWB transmission systems feature inherently large time-bandwidth products which enables localization. In this area, we are building a hardware testbed for power-efficient short-range wireless systems for communications and localization. UWB systems enable innovative applications which combine device localization and data transmission.



RAPID PROTOTYPING AND "TESTBEDDING"

Neue Methoden des Rapid Prototypings ermöglichen es, innovative Ideen und Konzepte schnell in ein Echtzeitexperiment umzusetzen. Gerade bei der Funkübertragung sind solche Experimente unumgänglich, um auszuschließen, dass etwaige bisher unberücksichtigte technische Hürden den Entwurf in Frage stellen. Solche Hürden können sowohl in der ungenauen Kanalmodellierung liegen, als auch in numerischen Problemen oder architekturellen Umsetzungsschwierigkeiten. Dabei geht man heutzutage oft so vor, dass man nur noch die wirklich neuen Anteile auf Hardware-Plattformen umsetzt, während man bereits vorhandene Baugruppen, deren Funktionalität kein Risiko darstellt, wiederverwendet. An unserem Institut wird zurzeit ein Prototyp für RFID betrieben und weiterentwickelt.

Während in der Vergangenheit Prototyping vor allem eingesetzt wurde um Kunden im Sinne eines Demonstrators ein zukünftiges Produkt frühzeitig vorführen zu können, ist dies bei der hohen Komplexität der Signalverarbeitungs-algorithmen in der Regel heute nicht mehr möglich. Oftmals entschließt man sich daher heute, mit sogenannten „Testbeds“ Experimente durchzuführen. Hierbei werden beispielsweise die zu sendenden Signale im Voraus berechnet, über den echten Funkkanal übertragen und nach dem Empfang im offline Betrieb ausgewertet. So werden zurzeit am Institut Testbeds zur MIMO Übertragung von UMTS, HSDPA und WIMAX Signalen sowie deren adaptiver Vorverzerrung verwendet. Eine entsprechende Entwicklung im Bereich UMTS Long Term Evolution hat bereits begonnen.

Mehr Details, siehe: http://www.nt.tuwien.ac.at/rapid_prototyping



The new methods of Rapid Prototyping will allow for fast conversions of innovative ideas and concepts into real-time experiments. In particular in the field of wireless communications, such experiments are crucial to ensure that unexpected technological hurdles cannot question the original design. Such hurdles can originate from inaccurate channel models as well as numerical problems or difficulties in architectural mapping. Today, only those parts are being prototyped onto hardware platforms that are truly new while older building blocks whose functionality is proven and does not risk the product are being re-used. Currently, a prototype for RFID is being utilized and will be further developed.



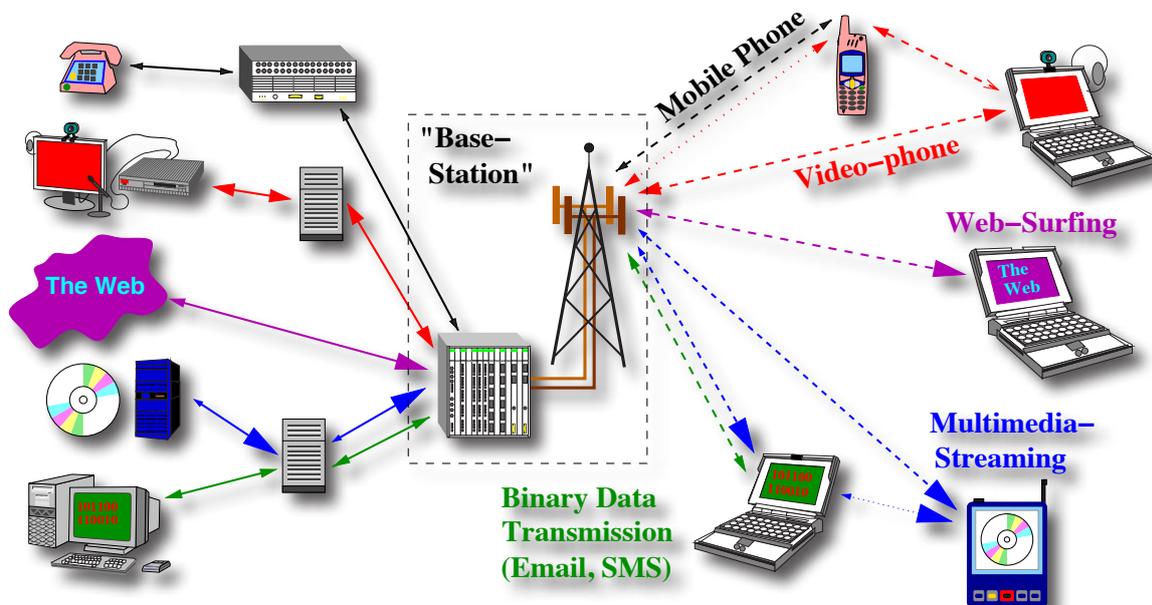
While it was customary in the past to utilize prototyping in the context of a demonstrator in order to present a future product to a customer at an early time, it is today typical not to apply prototyping due to the vast complexity of signal processing algorithms. Instead, often so called Testbeds are being used for experiments. In such the transmitted signals are pre-computed, transmitted over the true physical channel and finally after reception evaluated in offline mode. Currently we transmit UMTS, HSDPA and WIMAX conform signals over our MIMO testbeds in addition to applying adaptive predistortion to them. A corresponding development for the Long term Evaluation of UMTS is on its way.

For more details, see: http://www.nt.tuwien.ac.at/rapid_prototyping

MULTIMEDIA SYSTEMS

Die Forschung auf diesem Gebiet hat die empfängerseitige Bereitstellung von Multimediasignalen mit anwendungsspezifischen "Quality-of-Service"-Anforderungen zum Thema. Die Arbeit umfasst Mehrbenutzer-Informationstheorie, praktische Verfahren für die Quellen- und Kanalcodierung, Algorithmen der Signalverarbeitung für die Benutzerschnittstellen (z.B. Audio-Signalverarbeitung wie Geräuschreduktion und die Löschung akustischer Echos) sowie "Cross-Layer Design" wie z.B. Mehrbenutzer-Scheduling-Konzepte die Kanalwissen ausnutzen. Das Ziel ist die Optimierung des Gesamtsystems in der Weise, dass die System-Ressourcen (Bandbreite, Leistung, Komplexität) effizient genutzt werden, aber gleichzeitig die verschiedenen Qualitätsanforderungen der Anwendungen so gut wie möglich erfüllt werden.

Tatsache erzielt werden kann, dass viele Benutzer gleichzeitig aktiv sind und alle Benutzer voneinander weitgehend unabhängige Übertragungskanäle besitzen. Da sich alle Benutzer das drahtlose Medium für die Übertragung teilen, können z.B. hohe Gewinne in der Bitrate erzielt werden, wenn man immer zu dem Benutzer Daten überträgt, der im aktuellen Zeitabschnitt einen Kanal mit hoher Qualität hat. Allerdings wird dadurch die individuelle Qualität für die Benutzer nicht notwendigerweise maximiert. Ein gutes Beispiel hierfür sind Anwendungen mit Verzögerungsbeschränkungen: sind die Beschränkungen sehr strikt, so kann nicht genug Zeit vorhanden sein, um auf einen besseren Kanal für den Benutzer zu warten, und in diesen Fällen muss eine Datenübertragung erfolgen, auch wenn der Kanal eine niedrige Qualität hat. Das bewirkt aber einen Mehrbedarf an Sende-



CROSS-LAYER DESIGN

Das klassische Konzept für das Design von Kommunikationssystemen ist das "Open System Interconnection (OSI) Reference Model", das für kabelgebundene Anwendungen entwickelt wurde. Die Grundidee ist, die Netzwerkschichten wie Physical Layer, Data Link Layer, Transport Layer, Application Layer,... durch scharf definierte Schnittstellen zu trennen und unabhängig voneinander zu optimieren. Der große Vorteil dieser Methode ist ihre Einfachheit und die universelle Verwendbarkeit.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass die höchstmögliche Leistungsfähigkeit nicht immer erreicht wird, und das gilt besonders bei drahtlosen Anwendungen, bei denen ein Gewinn ("Multiuser Diversity Gain") an Leistungsfähigkeit aufgrund der

leistung, so dass gute "Trade-Offs" mit Hilfe von Optimierungsverfahren gefunden werden müssen. Praktische Lösungen für diese Probleme orientieren sich an Ergebnissen der Mehrbenutzer-Informationstheorie, aber sie werden mit Hilfe von Simulationen oder, falls möglich, durch Software/Hardware-Demonstratoren verifiziert. Die Forschung zielt nicht so sehr auf spezielle Anwendungen (wie z.B. Video-Streaming) als vielmehr auf universelle Prinzipien des Multimedia-Systemdesigns unter anwendungsspezifischen Randbedingungen, was immer sie sein mögen.

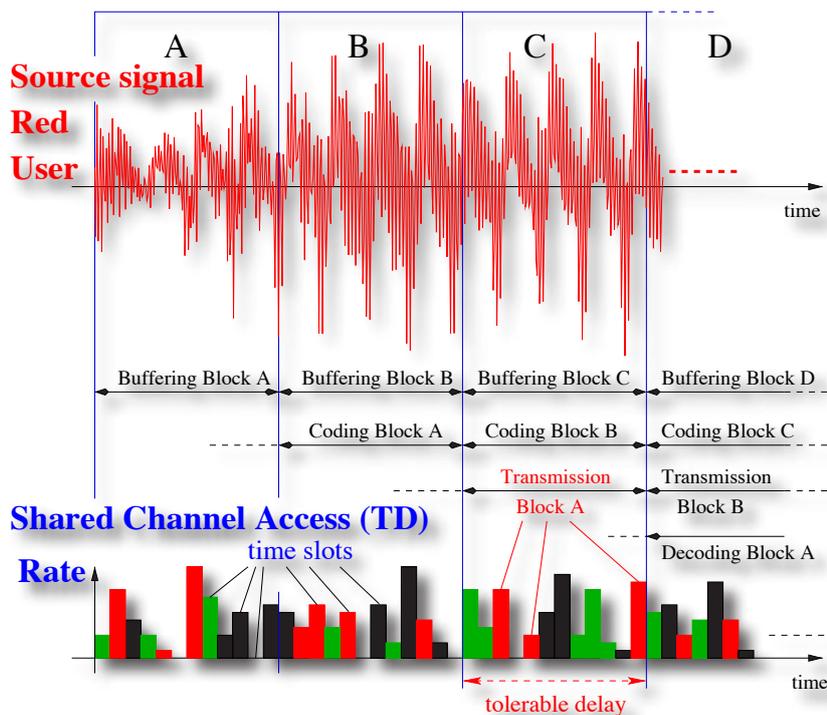


Abbildung 1/ Figure 1

Abbildung 1 zeigt die Übertragung eines Sprachsignals über einen gemeinsamen Kanal in einem Mehrbenutzersystem mit schnellen Schwundkanälen. Innerhalb der Zeitspanne die mit "tolerable delay" bezeichnet ist (typischerweise 20ms in der Sprachübertragung) muss das codierte Sprachsignal übertragen werden. Da innerhalb der erlaubten Verzögerungsgrenzen viele Zeitschlitze des Übertragungskanals liegen, kann man sich in gewissen Grenzen aussuchen, welche Zeitschlitze für die Übertragung zu diesem Benutzer verwendet werden, d.h. man wird solche Zeitschlitze wählen, innerhalb derer der Kanal eine aktuell gute Qualität hat: dies erlaubt, bei gleicher Datenrate, eine erhebliche Reduktion der erforderlichen Sendeleistung ("Multiuser Diversity Gain"). Mögliche Verzögerungsbeschränkungen beschränken allerdings diese Wahlfreiheit, und es ist ein besonders wichtiges Problem, "User-Scheduling"-Algorithmen zu finden, die sowohl den Mehrbenutzergewinn verfügbar machen als auch harte Verzögerungsbeschränkungen garantieren können.

MODULATION UND CODIERUNG FÜR MULTIMEDIA-ANWENDUNGEN

Cross-Layer Scheduling basiert normalerweise auf der Annahme, dass die theoretisch ermittelten Datenraten innerhalb eines Zeitschlitzes erreichbar sind, obwohl die Kanalkoeffizienten sich von einem zum anderen Zeitschlitz ändern. Die Erreichbarkeit der Datenraten ist z.B. in einem sog. Block-Fading Modell der Informationstheorie gegeben, in dem angenommen wird, dass die Blocklänge für die Kanalcodierung innerhalb eines Zeitschlitzes beliebig lang sein darf. Diese Annahme ist in der Praxis nicht erfüllt, ebenso wenig wie die Annahme Gaußscher Modulations-

codebücher bei der Übertragung.

In einer realen Anwendung ist die Anzahl der Kanalsymbole innerhalb eines Zeitschlitzes oft zu gering, um einen hohen Codiergewinn zu erzielen. Deshalb müssen die Codeworte einer fehlerkorrigierenden Kanalcodierung meist über mehrere Zeitschlitze erstreckt werden, innerhalb derer aber die „momentane“ Kanalkapazität wegen der Zeitvarianz des Kanals ebenfalls schwankt. Deshalb werden Verfahren mit variabler Coderate benötigt. Obwohl es im Bereich „Adaptive Modulation und Codierung“ Beiträge in der Literatur gibt, die weit zurückreichen, werden in der Praxis nur wenige Verfahren angewandt, wobei die meisten auf punktierten Faltungscodes beruhen, möglicherweise kombiniert mit QAM-Konstellationen verschiedener Größe. Darüberhinaus werden auch

hybride ARQ-Verfahren (Übertragung zusätzlicher Redundanzbits bei Versagen der empfängerseitigen Decodierung) und in neuerer Zeit auch „ratenlose“ Codes (Fountain Codes) diskutiert. Es fehlt aber immer noch an guten Kanalcodierverfahren mit einstellbaren Coderaten für Schwundkanäle, insbesondere für praxisrelevante mittleren Blocklängen, die in der Multimedia-Übertragung von hoher Bedeutung sind.

SIGNALVERARBEITUNG FÜR ANWENDERSCHNITTSTELLEN

Spracheingabesysteme werden in zunehmendem Maße für die Echtzeitverarbeitung bei Multimediaanwendungen benötigt. Beispiele sind Voice-over-IP-Systeme, Audio/Videokonferenzen, Mensch-Maschine-schnittstellen für die automatische Spracherkennung und andere sprachgesteuerte Anwendungen. Insbesondere unter schwierigen akustischen Bedingungen, bei denen Sprache durch Umgebungsgeräusche und Nachhall gestört ist, sind Audioaufnahmen mit einfachen Mikrofonen problematisch. Ein Headset oder ein Mikrofon in unmittelbarer Sprechernähe kann Abhilfe schaffen. Komfortabler sind in diesem Fall Mikrofonarrays, bei denen mit digitaler Signalverarbeitung die einzelnen Signale zu einem Beamformer kombiniert werden. Damit kann auch die Richtcharakteristik des Array auf den Sprecher fokussiert werden, ohne dabei die Lage des Array zu verändern. Durch die erhöhte Richtwirkung des Mikrofonarray werden Störsignale von unerwünschten Quellen stark unterdrückt. Eine weitere Störsignalunterdrückung kann durch ein nachgeschaltetes, ein-kanaliges, adaptives Filter erzielt werden. Damit kann eine Signalentstörung erreicht werden, die mit einkanaligen Methoden nicht möglich ist. Die Heraus-

forderung beim Entwurf von Mikrofonarrays ist die Optimierung der Richtcharakteristik über einen weiten Frequenzbereich, die Unempfindlichkeit bezüglich Eigenrauschen der Mikrofone und der Signalverarbeitung, sowie die Robustheit betreffend Toleranzen in der Anordnung der Mikrofone.

Forschungsschwerpunkte:

- Beamformer-Entwurf mit Hilfe hochaktueller Optimierungsverfahren, wie Second-Order Cone Programming
- Mehrkanalsysteme mit Mikrofonarrays zur Sprachsignalentstörung
- Automatisch gesteuerte Mikrofonarrays zur Verfolgung von Sprecherbewegungen bei Audioaufnahmen

In Abbildung 2 ist eine Sprecherbewegung aus der Sicht eines automatisch gesteuerten 8-Kanal-Mikrofonarrays dargestellt. Die Sprecherbewegung beginnt bei einem Winkel von 90° (Richtung normal auf die Achse des Array). Danach bewegt sich der Sprecher in Richtung 0° und schließlich in Richtung 180° . Die Hauptkeule des Richtdiagramms (dunkelroter Bereich) folgt dieser Sprecherbewegung. Zur Richtungsschätzung werden die Signale der beiden äußeren Mikrofone des Array verwendet.



Research in Multimedia Systems is about multimedia delivery efficiency in wireless networks under Quality-of-Service (QoS) constraints. The work involves multiuser information theory, practical source-channel coding and signal processing algorithms for user interfaces (e.g. audio signal processing such as noise reduction, beamforming and echo cancellation) as well as Cross-Layer design such as multiuser scheduling concepts that exploit channel knowledge. The goal is to optimise the overall systems such that efficient use is made of the “resources” (bandwidth, power, complexity) while the QoS demands of the users’ applications are met.

CROSS-LAYER DESIGN

The classical design paradigm for communication networks is the Open System Interconnection reference model that was invented in the context of wired networks. The basic notion is an independent design and optimization of the network layers such as Physical Layer, Data Link Layer, Transport Layer, Application Layer,.... All those layers solve different problems in a network and, hence, the idea of a separate design approach. The big advantage of this concept is simplicity and universal applicability.

The drawback is that the best possible performance will not always be achieved, and this particularly applies to wireless networks. This is to say that, in the

latter, there is the notion of “Multiuser Diversity” which allows for very significant performance gains due to the fact that many users are served by the system who all have time varying channels, one of which is very likely to have high quality at any time instant. There is, however, a balance between the exploitation of multiuser diversity gains and the quality-of-service demands of the users. A good example is delay: if the latency constraints of an application are very stringent, there may not be the time to wait for a better channel coefficient, and in such situations the user will have to be scheduled for channel access even though the channel might be of bad quality. Of course this implies an “inefficient” use of more power, so there is a high-dimensional optimization problem to find the right trade-offs. Practical solutions in this field are guided by results from multiuser information theory which have to be adapted for the problem at hand and be verified by computer simulations or, even better, by software/hardware demonstrators. The work is not so much about specific applications such as video streaming but rather about universal principles, and their realisation in algorithms, of how to trade-off resource-efficiency and QoS demands whatever they may be.

Figure 1 shows the transmission of a speech signal (“red user”) over a shared channel with fast fading in a multiuser system. Within the time span denoted by “tolerable delay” (typically 20ms for speech transmission) the encoded speech data must be transmitted. As there are many time slots within the tolerable delay, there is some choice which of the time slots are allocated to a user, so the transmission can be carried out when the channel quality is good: this will allow to dramatically reduce transmission power (multiuser diversity gain)! Of course the delay-limits restrict the possible choice of time slots, and it is a particularly important problem to find good scheduling algorithms that make diversity gains available but which, at the same time, ensure that delay constraints are met.

MODULATION AND CODING FOR MULTIMEDIA APPLICATIONS

Cross-Layer Scheduling is usually based on the assumption that the net data rates within a time-slot are achievable, although the channel-coefficients vary from one time-slot to another. The “achievability” of the rates is guaranteed e.g. in a block fading model as used in information theory, where the coding block size within a time slot is assumed to be infinitely large. This is, of course, not true in practice. Moreover, results in multiuser information theory usually assume the use of Gaussian modulation codebooks, which again is not realistic in an implementation.

In practice, the number of channel symbols within a time slot is limited and may often be too small to achieve a large coding gain. Therefore, error correction channel coding will have to be spread across sev-

eral time slots among which “instantaneous capacity” changes. Therefore, advanced rate-adaptive channel coding schemes are required, in combination with adaptive modulation, e.g., implemented by a variable QAM constellation size. Although there has been a substantial amount of work in the field of adaptive modulation with fixed channel coding, the work on variable-rate channel coding is more or less limited to punctured convolutional codes, hybrid ARQ schemes and rateless codes (such as fountain codes). Good channel codes with adjustable rates for fading channels are an important field of work, particularly for the delay-limited case in multimedia transmission.

SIGNAL PROCESSING FOR USER INTERFACES

Voice input systems are increasingly important as real-time front-ends for multimedia-related applications. Examples include Voice-over-IP systems, audio/video conferencing, human-machine interfaces using automatic speech recognition, and other voice controlled applications. Especially under adverse acoustic conditions where speech is corrupted by noise, interference, and room reverberation, it is difficult to obtain audio records of sufficient quality with a single microphone. Wearing a headset or using a hand-held microphone close to the speaker may be a solution. But microphone arrays offer more convenience in such situations. By combining the individual microphone signals by means of digital signal processing algorithms, acoustic beamforming can be achieved. In addition, the sensitivity characteristic of the array can be steered to the desired speaker without moving the array. Due to the increased directivity, unwanted signals from noise sources and other speakers can be significantly suppressed. Augmenting microphone array beamformers with noise suppression systems results in signal enhancements not feasible with systems using a single microphone channel. The challenge in designing microphone array beamformers is to ensure a good directivity over a wide frequency range, robustness against noise contributions from microphones and analog signal conditioning, as well as a low sensitivity in regard to errors in the array geometry.

Research focus:

- Beamformer design with advanced optimization techniques like second-order cone programming
- Multichannel speech enhancement with microphone arrays
- Speaker tracking with automatically steered adaptive microphone arrays

Figure 2 shows speaker movements as seen by an adaptive one-dimensional, 8 channel microphone array. The speaker starts at broadside direction (azimuth 90° , i.e. perpendicular to the array axis) and then moves towards azimuth 0° , and finally to 180° . The main lobe (dark red area) of the array pattern follows the speaker movement. Speech signals from the two outmost microphones are used to estimate the speaker position, and to automatically steer the array.

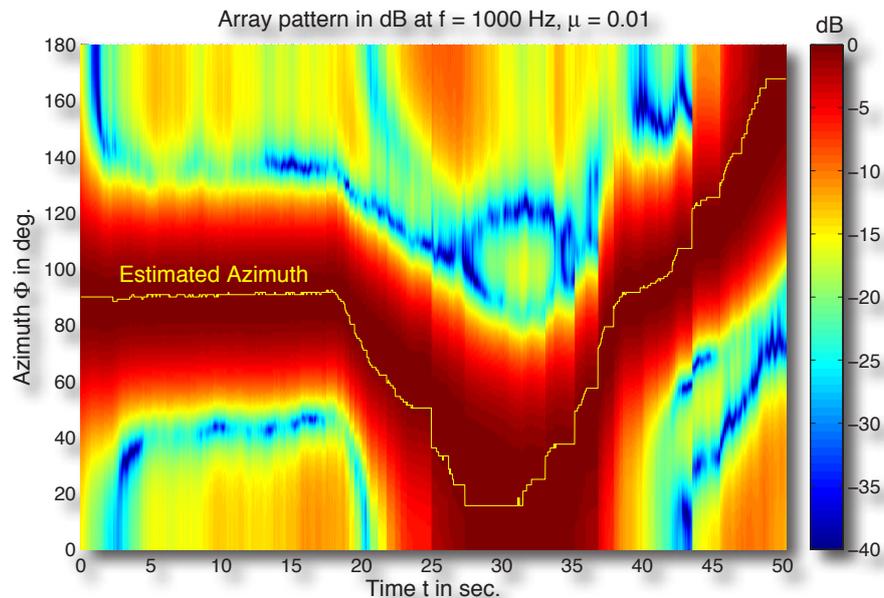


Abbildung 2 / Figure 2

THEORIE DER TELEKOMMUNIKATION COMMUNICATION THEORY

Unsere Aktivitäten konzentrieren sich auf die physikalische Schicht in drahtlosen Übertragungssystemen, insbesondere Sender- und Empfängerentwurf, Informationstheorie und drahtlose Netze. Unsere Forschungen werden größtenteils im Rahmen des EU-IST FP6 Projekts "Multiple Access Space-Time Coding Testbed" (MASCOT) und zuletzt des Projekts "Information Networks" im Nationalen Forschungsnetzwerk "Signal and Information Processing in Science and Engineering" gefördert.

MEHRANTENNEN-VORCODIERUNG

Vorcodierung in Mehrantennensystemen erlaubt die Steigerung des Durchsatzes in zellularen Systemen, wobei die Komplexität bei den Endgeräten gering gehalten werden kann. Unsere Forschungen hierbei beschäftigten sich hauptsächlich mit Vektor-Perturbation unter praktischen Rahmenbedingungen (imperfekte Kanalzustandsinformation, beschränktes Feedback, endlicher Dynamikbereich). Das von uns vorgeschlagene Verfahren "Transmit Outage Pre-coding" (TOP) verzichtet auf das Senden unter ungünstigen Kanalbedingungen und erzielt dennoch die maximal mögliche Diversität unter gleichzeitiger Einsparung von Sendeleistung.

MIMO SOFT-DEMODULATION

In MIMO-Systemen mit räumlichem Multiplex über-gibt der Demodulator Soft-Information wie z.B. *log-likelihood ratios* (LLR) an den Decoder. Wir schlugen vor, die Leistungsfähigkeit von MIMO-Demodulatoren anstatt mittels Bitfehlerrate mittels Transinformation zu beschreiben, da letztere nicht vom Kanalcode abhängt. Überraschenderweise stellte sich heraus, dass häufig keine universelle Reihung der Detektoren möglich ist.

Die Begrenzung von LLRs erlaubt deutliche Komplexitätssparnisse bei Verwendung eines MIMO-„Sphere“-Decoders. Wir fanden heraus, dass dies einer informationsgeometrischen Projektion entspricht und der Einfluss auf die Leistungsfähigkeit ein Schwellwertverhalten aufweist.

ITERATIVE EMPFÄNGER

Turbo-Empfänger bestehen aus zwei oder mehr Stufen, welche miteinander Soft-Information (Bit-wahrscheinlichkeiten) austauschen. Wir entwarfen solche Empfängerstrukturen für *interleave division multiple access* (IDMA) unter Verwendung von Faktor-graphen und des "sum-product"-Algorithmus. Durch geschickte Approximationen und einen adaptiven Ablaufplan erzielten wir große Einsparungen beim Rechenaufwand ohne die Ergebnisse zu verschlechtern.

Weiters verwendeten wir *extrinsic information transfer* (EXIT) Diagramme für den Entwurf iterativer Empfänger für Einbenutzersysteme mit *bit-interleaved coded modulation* (BICM) und imperfekter Kanalzustandsinformation. Deren Leistungsfähigkeiten verbesserten wir weiter durch optimierte Anpassung von LDPC-Codes.

DRAHTLOSE NETZE

In Zusammenarbeit mit Nokia entwickelten wir verteilte Algorithmen zur Keulenformung in Relay-Netzen. Hierbei assistieren mehrere Relays einem Quelle-Senke-Paar zur Realisierung verteilter MIMO-Gewinne. Die Algorithmen basieren auf einer Perturbation der Relay-Gewichte und 1-Bit Feedback von der Senke und benötigen keinerlei Kanalzustandsinformation an den Relays.

Weiters schlugen wir verschiebungsinvariante anstatt von bandbegrenzten Signalräumen für die Rekonstruktion von physikalischen Feldern in drahtlosen Sensornetzen vor. Dies ist vorteilhaft, da die räumliche Abtastung dabei zu keinem Alias-Effekt führt und die Feldrekonstruktion effizient durchgeführt werden kann.

INFORMATIONSTHEORIE

Wir verwendeten informationsgeometrische Methoden zur Analyse und Verbesserung iterativer Algorithmen. Eine informationsgeometrische Interpretation des *Arimoto-Blahut-Algorithmus* zur Berechnung der Kanalkapazität führte zu beschleunigten Versionen dieses Algorithmus, welche mit dem selben Rechenaufwand verbesserte Konvergenz erreichen.

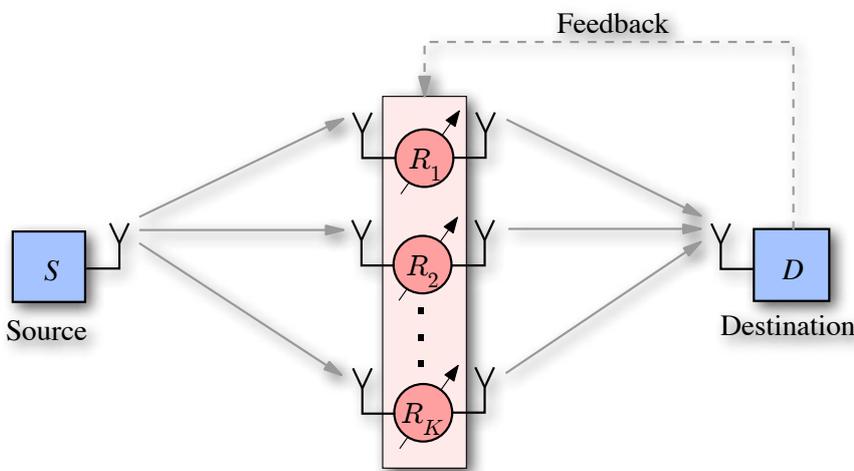
Weiters untersuchten wir die maximal erreichbaren Raten in Systemen mit imperfekter Kanalzustandsinformation. Dabei entwickelten wir zwei neue informationstheoretische Konzepte: i) verallgemeinerte typische Sequenzen, welche erhöhte Robustheit gegen Kanalschätzfehler aufweisen und ii) durch Schätzfehler induzierte Ausfalls-Kapazität. Unsere Ergebnisse liefern Richtlinien für den Entwurf trainings-basierter Übertragungssysteme.



Our activities in this area are focused on physical layer aspects of wireless communication systems, specifically transmitter and receiver design, information theory, and wireless networks. Our research has mostly been funded by the EU-IST FP6 project “Multiple Access Space-Time Coding Testbed” (MASCOT) and recently by the project “Information Networks” within the FWF National Research Network “Signal and Information Processing in Science and Engineering” (SISE). Further activities projects are described in the Section on “Signal Processing”.

MULTI-ANTENNA PRECODING

Multi-antenna precoding is an attractive solution for increasing the throughput in cellular systems while simultaneously keeping terminal complexity low.



Under idealizing assumptions, vector perturbation is a performance- and complexity-wise particularly attractive scheme in this context. However, we have shown that under a variety of practical constraints (CSI quality, finite-rate feedforward/feed-back, and dynamic range), vector perturbation features an undesirable error floor. This motivated us to propose “transmit outage precoding” (TOP), a modification that avoids feed-forward by purposely abstaining from transmission when channel conditions prohibit reliable reception anyway. The receivers’ limited dynamic range can be accounted for by using a restricted set of perturbation vectors at the transmitter. We have shown analytically that our scheme achieves the same diversity order as conventional vector perturbation in idealized conditions and CSI accuracy is the most critical factor impacting diversity order.

SOFT-OUTPUT MIMO DEMODULATION

In MIMO systems using spatial multiplexing, the demodulator (detector) provides the decoder with soft-information like *log-likelihood ratios* (LLR) of the code bits. The performance of the demodulators proposed in the literature has previously been studied in

terms of bit error rate (BER).

To avoid the problem that BER performance comparisons depend on the structure and the rate of the chosen code, we proposed mutual information as an alternative performance metric that measures the maximum rates achievable with a specific MIMO demodulator. Somewhat surprisingly, it turned out that often there is no universal performance ranking, i.e., which demodulator is preferable depends on the SNR (or, equivalently, on the rate).

It has been realized that the clipping of LLRs enables significant complexity savings when MIMO soft-demodulation is implemented using a sphere decoder. This motivated us to study LLR clipping from a variety of perspectives. We found that LLR clipping has an intuitive interpretation as information geometric projection and that performance (measure via mutual information) shows a threshold behavior with respect to the clipping level.

ITERATIVE RECEIVERS

Turbo-style receivers consist of two or more stages that exchange soft information (bit probabilities) to improve demodulation, equalization, and decoding performance.

We devised such receiver structures for *interleave division multiple access* (IDMA) systems by constructing factor graphs representing the underlying system and applying the sum-product algorithm (i.e., message passing) to approximate the exponentially complex MAP bit detector. Using clever Gaussian approximations for certain messages and an adaptive schedule for the sum-product algorithm, we achieved enormous complexity savings without compromising performance. Recently, we have incorporated an additional stage into the iterative receiver that estimates the length and the coefficients of the channel impulse response.

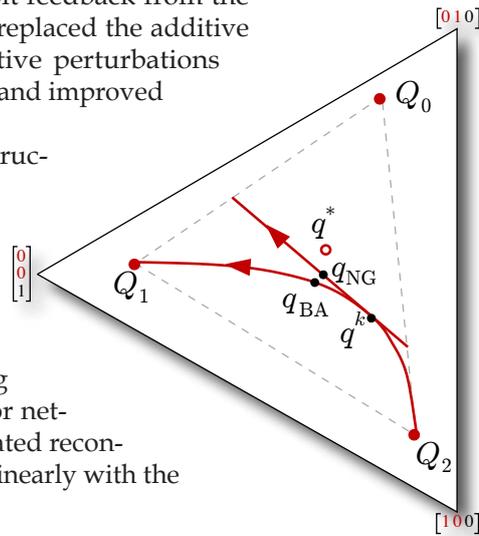
Furthermore, we considered single-user systems employing *bit-interleaved coded modulation* (BICM) with iterative demodulation in situations with imperfect channel state information (CSI). Here, we derived optimum metrics for the demodulation stage that take into account the statistics of the channel estimate. These demodulators were assessed using *extrinsic information transfer* (EXIT) charts. By optimizing the degree distribution of LDPC codes such that their EXIT chart matches that of the demodulator, we obtained significant performance gains over receivers with conventional demodulators and non-optimized codes.

WIRELESS NETWORKS

Motivated by the growing importance of *Ad Hoc networks* and *sensor networks*, research on wireless communications is departing more and more from scenarios with only a single source or a single destination.

In collaboration with Nokia we have developed distributed beamforming schemes for relay networks in which multiple relays assist the source in order to realize distributed MIMO gains. In order to avoid excessive CSI requirements, we proposed an iterative scheme for updating the beamforming weights using additive perturbations and 1-bit feedback from the destination. Recently, we have replaced the additive perturbations with multiplicative perturbations that feature smaller complexity and improved convergence properties.

In the context of the reconstruction of physical fields from sensor network measurements, we proposed to use shift-invariant spaces instead of band-limited spaces. Such an approach is better suited to physical fields since anti-aliasing filtering is not possible in sensor networks. Furthermore, the associated reconstruction algorithm scales only linearly with the number of sensors.



INFORMATION THEORY

In our information theoretic research, we applied information geometric methods to the analysis and improvement of iterative algorithms. Specifically, we found a new intuitive information geometric interpretation of the *Arimoto-Blahut* algorithm for computing channel capacities. This interpretation provided the basis for developing accelerated versions of the Arimoto-Blahut algorithm, which have the potential for super-linear convergence even though they have the same complexity as the original algorithm.

We further analyzed the maximum achievable data rates in communication systems using inaccurate channel state information at the receiver (this is particularly relevant for wireless communication systems). To this end, we developed a generalization of the information theoretic notion of typical sequences that features enhanced robustness against channel estimation errors and we introduced the novel notion of estimation-induced outage capacity. Our results also provide guidelines on how accurate channel state information needs to be (i.e., how much training is needed) in order to achieve a target outage capacity.

SIGNALVERARBEITUNG SIGNAL PROCESSING

Wichtige Themen und Anwendungen unserer Forschungsarbeiten im Bereich Signalverarbeitung sind drahtlose Kommunikation (Funkschnittstelle), Sprach- und Audio-Signalverarbeitung, medizinische Signalverarbeitung sowie Zeit-Frequenz-Methoden. Die folgende Beschreibung wird ergänzt durch die Abschnitte „Signalverarbeitung in der Mobilkommunikation“ und „Theorie der Telekommunikation“.

MEHRTRÄGER-SYSTEME

Mehrträgermethoden wie *orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) sind in vielen drahtlosen Übertragungssystemen standardisiert. Wir entwickeln Signalverarbeitungsalgorithmen zur Schätzung, Prädiktion und Entzerrung zeitveränderlicher Funkkanäle in Ein- und Mehrantennen-OFDM-Systemen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Modern Harmonic Analysis Methods for Advanced Wireless Communications“ (MOHAWI), das wir gemeinsam mit Mathematikern der Universität Wien durchführen, entwerfen und analysieren wir Mehrträgersysteme mit Pulsformung. Unser Hauptaugenmerk gilt dabei rasch zeitveränderlichen und stark dispersiven Kanälen, wo Systeme mit Pulsformung bessere Ergebnisse als herkömmliche OFDM-Systeme liefern können. Wir benutzten Frame-Theorie und Zeit-Frequenz-Methoden für den Entwurf optimaler Pulsformen. Weiters schlugen wir die Verwendung des *LSQR-Algorithmus* zur recheneffizienten Entzerrung rasch zeitveränderlicher Kanäle vor. (Weitere Arbeiten zur Kanalschätzung und -prädiktion werden weiter unten beschrieben.)

MIMO-DETEKTION

Drahtlose *multiple-input multiple-output* (MIMO) Übertragungssysteme benutzen mehrere Antennen, um höhere Datenraten und bessere Verbindungsqualität zu erzielen. Eine große Herausforderung ist der Entwurf von Empfängern (Detektoren), welche die miteinander interferierenden Datenströme trennen. Die von uns vorgeschlagenen MIMO-Detektoren sind teilweise durch die Eigenschaften von MIMO-Schwundkanälen motiviert, insbesondere durch die Beobachtung, dass für die meisten Kanäle einfache Detektoren ausreichen und nur für einen kleinen Bruchteil von „böartigen“ Kanälen leistungsfähigere Detektoren erforderlich sind.

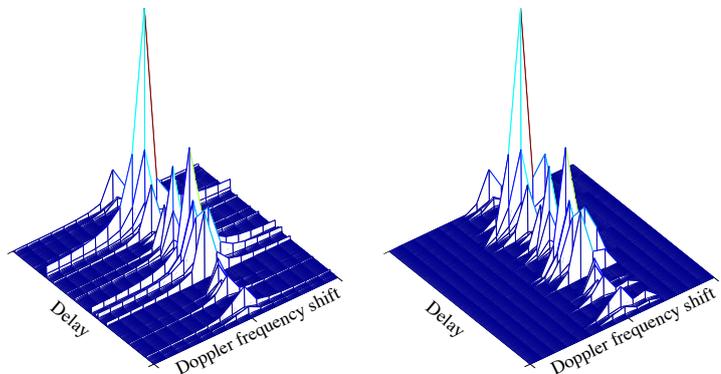
Weiters entwickelten wir einen MIMO-Detektor, der aus einem linearen Vor-Entzerrer und einem „Sphere“-Decoder besteht. Durch Variieren des Ausmaßes an Entzerrung lassen sich dabei Diversitätsordnung und Komplexitätssparnis kontinuierlich

gegeneinander abtauschen, wobei „Zero-Forcing“-Detektion und „Maximum-Likelihood“-Detektion entgegengesetzte Extremfälle sind.

Wir entwickelten und analysierten auch Verfahren zur Gitter-Reduktion für MIMO-Detektoren. Die Grundidee dabei ist, die der Kanalmatrix entsprechende Gitterbasis zu einer äquivalenten Basis zu reduzieren und dadurch die Leistungsfähigkeit suboptimaler Detektoren zu verbessern. Wir schlugen die Anwendung der Seysen'schen Gitter-Reduktionsmethode auf die MIMO-Detektion vor und analysierten die Komplexität der LLL-Methode.

KANALSCHÄTZUNG

Eine genaue Schätzung von Funkkanälen ist für kohärente Detektion und Link-Adaption erforderlich. Wir entwickelten blockorientierte und adaptive Algorithmen zur entscheidungsrückgekoppelten prädiktiven Kanalschätzung in Mehrträger-Systemen (OFDM). Prädiktive Kanalschätzer vermeiden Verzögerungen, die eine veraltete Kanalzustandsinformation zur Folge hätten. Ähnliche adaptive Verfahren zur Kanalschätzung in MIMO-OFDM-Systemen ergaben eine sehr genaue Kanalzustandsinformation ungeachtet der räumlichen Kanalkorrelation.



Delay-Doppler representation of a time-varying communication channel, using a standard Fourier basis (left) and an optimized basis yielding improved sparsity (right).

Unter Ausnützung jüngster Fortschritte auf dem Gebiet der irregulären Abtastung und Rekonstruktion schlugen wir einen Kanalschätzer vor, der für sehr allgemeine Pilotkonfigurationen geeignet ist. Beispiele dafür sind MIMO-OFDMA-Systeme sowie iterative Systeme, in denen zuverlässig detektierte Symbole als virtuelle Piloten dienen. Weiters entwickelten wir einen Kanalschätzer, der auf der kürzlich entstandenen „Compressive Sampling“-Theorie basiert. Dieser Schätzer nützt die Dünnbesetztheits-Eigenschaft zeitveränderlicher Kanäle im Verzögerungs-Doppler-Bereich zur Reduktion der Anzahl der Pilotsymbole aus.

Für Systeme mit Paketübertragung schlugen wir einen auf dem Prinzip der kleinsten mittleren Fehlerquadrate (MMSE) basierenden Kanalschätzer vor, der die Kanalschätzung rekursiv mit jedem Paket aktualisiert, während gleichzeitig die Kanal- und Rauschstatistiken erlernt werden. Dieser Schätzer erreicht den minimalen Schätzfehler nach wenigen Paketen.

MEHRBENUTZER-SYSTEME

Im Rahmen des EU-IST FP5 Projekts ANTIUM beteiligten wir uns an der Entwicklung eines Geräts zur Interferenzanalyse in UMTS-Netzen. Unser Ziel war die Detektion und Identifikation einer maximalen Anzahl von Basisstationen. Wir konzipierten Raum-Zeit-Algorithmen zur Synchronisation, Kanalschätzung und Datendetektion innerhalb eines Mehrbenutzer-Empfängers mit mehreren Antennen. Diese Algorithmen erlauben die Identifikation sehr schwacher (weit entfernter) Basisstationen selbst bei starker Interferenz durch nahegelegene Basisstationen.

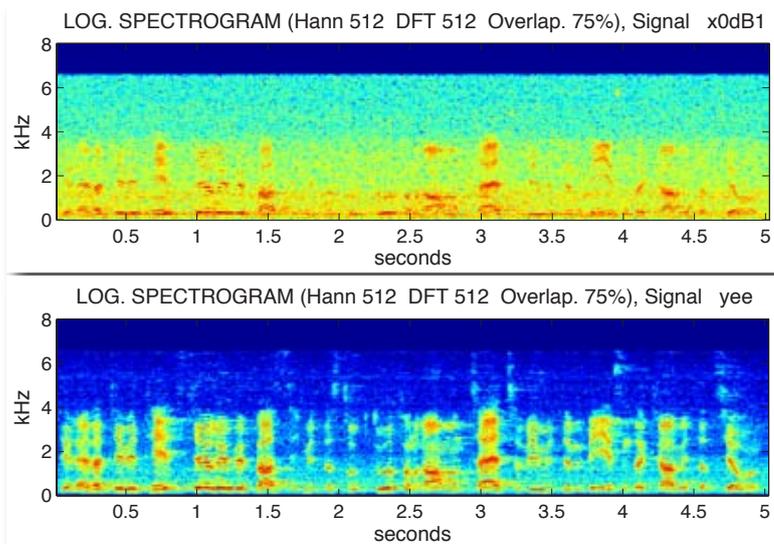
Interleave division multiple access (IDMA) ist ein kürzlich vorgeschlagenes Mehrfachzugriffsverfahren, das eine attraktive Alternative zu Codemultiplex (CDMA) darstellt. Wir untersuchten IDMA für Ein- und Mehrantennensysteme und benutzten *Faktographen* zur Entwicklung iterativer „Turbo“-Algorithmen für Mehrbenutzerdetektion und Kanaldecodierung. Zuletzt erweiterten wir unser Verfahren durch Integration der Kanalschätzung in die Iterationsschleife. Dies ergab signifikante Gewinne gegenüber Empfängern mit getrennter Kanalschätzung.

SPRACH- UND AUDIOSIGNALVERARBEITUNG

Wir beschäftigen uns mit der Entstörung verrauschter Sprachsignale mit Hilfe mehrkanaliger Systeme. Normalerweise werden gestörte, gespeicherte Signale mit einkanaligen Systemen verarbeitet. Wenn jedoch akustische Signale mit mehreren Mikrofonen aufgenommen werden können, dann bieten Mehrkanalsysteme eine wesentlich bessere Störsignalunterdrückung. Mögliche Anwendungsbereiche sind Freisprecheinrichtungen in Fahrzeugen und Telekonferenzen. Als Systemrealisierung untersuchten wir die Kombination eines Beamformers mit einem nachgeschalteten Einkanal-Entstörsystem (Postfilter). Weiters entwickelten wir adaptive Beamformer, die eine Schätzung der Korrelationsmatrix der Mikrofonsignale bei der Bestimmung der Beamformer-Koeffizienten verwenden. Derzeit arbeiten wir an der Beamformer-Optimierung für den Fall einer festeingestellten Richtcharakteristik. Mit einem optimierten Beamformer als Vorverarbeitung für das Postfilter kann eine noch bessere Signalentstörung erzielt werden.

ZEIT-FREQUENZ-METHODEN

Da instationäre Zufallsprozesse nicht durch ein herkömmliches Leistungsdichtespektrum charakterisiert werden können, entwickeln wir parametrische und nichtparametrische Zeit-Frequenz-Spektren und entsprechende Spektralschätzer. Wir schlugen das *time-frequency autoregressive moving-average* (TFARMA)-Modell und effiziente Parameterschätzer für die instationäre Modellierung und Spektralanalyse vor und demonstrierten deren Anwendung auf stochastische zeitveränderliche Kommunikationskanäle. Für instationäre Zufallsprozesse mit einer Zeit-Frequenz-Dünnbesetztheitseigenschaft entwickelten wir kompressive Spektralschätzer. Diese Zeit-Frequenz-Methoden nützen die von vielen praktischen Zufallsprozessen aufgewiesene Underspread-Struktur aus, um hohe Schätzgenauigkeit und effiziente Implementierungen zu erzielen. Weiters benützten wir Zeit-Frequenz-Methoden zur Schätzung zeitveränderlicher Kommunikationskanäle und zum Entwurf von Mehrträger-Kommunikationssystemen (siehe die Abschnitte „Kanalschätzung“ und „Mehrträger-Systeme“).

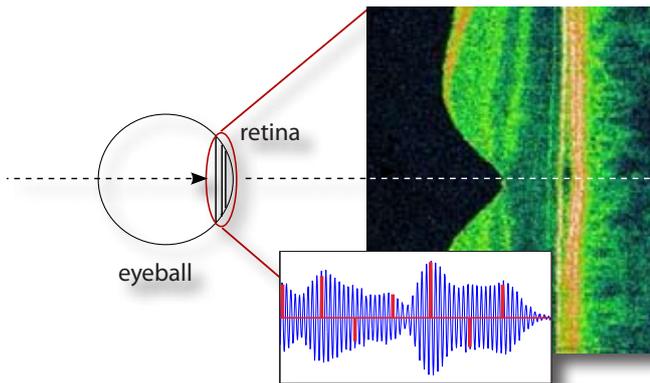


Speech enhancement by means of a beamformer-postfilter system. Top: Spectrogram of noisy speech (SNR = 0 dB) measured at one microphone of an 8-channel beamformer. Bottom: Spectrogram of the enhanced speech signal obtained at the output of the beamformer-postfilter system.

MEDIZINISCHE SIGNALVERARBEITUNG

In der medizinischen Diagnostik können mittels statistischer Signalverarbeitungsmethoden aus gemessenen Signalen morphologische und andere Informationen über den menschlichen Körper gewonnen werden. Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts, das wir gemeinsam mit einem Team der Cardiff University (UK) durchführen, entwickelten wir Detektions-, Schätz- und Vorverarbeitungsmethoden für die hochauflösende Optische Kohärenz-

tomographie (*optical coherence tomography*, OCT). OCT ist ein nichtinvasives, laserbasiertes bildgebendes Verfahren, das insbesondere für die Untersuchung der Netzhaut geeignet ist. Unser Ziel sind die detaillierte Darstellung und Vermessung der verschiedenen Schichten der Netzhaut sowie die Bestimmung diagnostischer Schichtparameter. Derzeit arbeiten wir an Bayesschen Detektions- und Schätzmethoden sowie an Vorverarbeitungsmethoden, mit denen eine Verbesserung der Signalakquisition erzielt werden kann.



Two-dimensional scan of the retina and one-dimensional reflectivity function (red bars) estimated by means of a Bayesian detection/estimation method.



Major directions and applications of our signal processing research are wireless communications (physical layer), speech and audio processing, medical imaging, and time-frequency processing. The following description is complemented by the sections “Signal Processing in Mobile Communications” and “Communication Theory”.

MULTICARRIER SYSTEMS

Multicarrier methods such as *orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) are used in many wireless communication standards. We develop advanced signal processing algorithms for estimating, predicting, and equalizing time-varying wireless channels for single-antenna and multi-antenna (MIMO) OFDM systems.

Within the research project “Modern Harmonic Analysis Methods for Advanced Wireless Communications” (MOHAWI), we collaborate with mathematicians at the University of Vienna to design and analyze pulse-shaping multicarrier systems. Our focus is on rapidly time-varying and highly dispersive channels, for which pulse-shaping multicarrier systems can outperform conventional OFDM systems. We used frame theory and time-frequency techniques to design optimal pulse shapes. We also proposed the

application of the *LSQR algorithm* to low-complexity equalization of rapidly time-varying channels. (Further work on channel estimation and prediction is reported in a later section.)

MIMO DETECTION

Wireless *multiple-input multiple-output* (MIMO) communication systems use multiple antennas at both link ends for improved data rate and link quality. A major challenge is the design of receivers (detectors) that separate the individual data streams interfering with each other. The MIMO detectors we proposed are partly motivated by the properties of fading MIMO channels, specifically, by the observation that a large percentage of channel realizations allow for low-complexity detection whereas a small percentage of “bad” channels require more advanced detection schemes.

We furthermore developed a MIMO detector consisting of a linear pre-equalization stage and a sphere decoder. By varying the amount of equalization, this scheme establishes a continuous trade-off between diversity order and complexity savings, with zero-forcing and maximum-likelihood detection being opposite extremes.

We also developed and analyzed *lattice reduction* techniques for MIMO detection. The idea is to reduce the lattice basis corresponding to the channel matrix to an equivalent basis that leads to better performance of suboptimum detectors. We proposed the use of Seysen’s lattice reduction algorithm and we assessed the computational complexity of LLL lattice reduction.

CHANNEL ESTIMATION

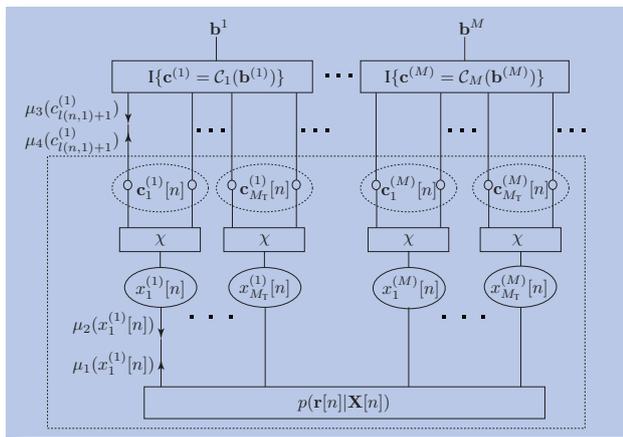
Accurate estimation of wireless channels is required for coherent detection and link adaptation. We developed batch and adaptive designs for decision-directed, predictive channel estimation in multicarrier/OFDM systems. Predictive channel estimators avoid delays that would result in an outdated channel state information (CSI). Similar adaptive designs for channel estimation in MIMO-OFDM systems were shown to provide highly accurate CSI irrespective of the channel’s spatial correlation.

Exploiting recent progress in irregular (non-uniform) sampling and reconstruction, we proposed a channel estimator that is suitable for very general pilot configurations, such as those occurring in MIMO-OFDMA systems or in iterative systems using reliably detected symbols as virtual pilots. We also proposed a “compressive” channel estimator that builds on the recently developed mathematical theory of *compressive sampling*. This estimator exploits the sparsity of time-varying channels in the delay-Doppler domain to achieve a reduction of pilot overhead.

For packet transmission systems, we proposed a minimum-mean square error (MMSE) channel estimator that recursively updates the channel estimate with each new packet while simultaneously learning the channel and noise statistics. This estimator was observed to approach MMSE performance after a relatively small number of packets.

MULTI-USER SYSTEMS

Within the EU-IST FP5 project ANTIUM, we participated in the development of a network monitoring device for interference analysis in UMTS networks. Our goal was to detect and identify as many base stations as possible. We devised space-time algorithms for synchronization, channel estimation, and data detection within a multi-user receiver equipped with multiple antennas. These algorithms allow the identification of very weak (distant) base stations in the presence of strong interference from nearby base stations.



Factor graph (detail) of an iterative MIMO-IDMA receiver.

Interleave division multiple access (IDMA) is a recently proposed multi-access technique that provides an attractive alternative to code division multiple access (CDMA). We studied both single-antenna and multi-antenna (MIMO) IDMA systems and used a *factor graph* framework to develop iterative “turbo” algorithms for multi-user detection and channel decoding. Recently, we extended this scheme to include channel estimation in the iteration loop. This yielded significant performance gains over state-of-the-art receivers using separate channel estimation.

SPEECH AND AUDIO SIGNAL PROCESSING

Our research topic in this area is the enhancement of noisy speech signals by means of multichannel noise reduction systems. Recorded signals are usually denoised by single-channel techniques. If we can capture acoustic signals with multiple microphones, then advanced multichannel systems offering a far better

noise reduction performance can be used. Applications include hands-free telephony in cars and teleconferencing. We have investigated multichannel speech enhancement systems consisting of a microphone array beamformer followed by a single-channel adaptive noise reduction system (postfilter). We have also implemented adaptive beamformers that estimate the correlation matrix of the beamformer input signals used in the computation of the beamformer coefficients. Currently, our focus is on optimization methods for fixed beamformer designs. An optimized beamformer preprocessing allows for a further improvement in noise reduction performance of the overall system.

TIME-FREQUENCY METHODS

For nonstationary random processes, the power spectral density does not exist. We attempt to fill this gap by developing parametric and nonparametric time-frequency spectra and associated spectral estimators. We proposed the *time-frequency autoregressive moving-average* (TFARMA) model and efficient parameter estimators for nonstationary parametric modeling and spectral analysis, and we demonstrated the application of TFARMA modeling to random time-varying communication channels. We furthermore developed compressive spectral estimators for nonstationary random processes with a time-frequency sparsity property. These time-frequency methods exploit the underspread structure exhibited by many practical random processes to obtain good estimation accuracy and efficient implementations. We also used time-frequency concepts and techniques for estimating time-varying communication channels and for designing transceivers for multicarrier communication systems (see sections “Channel Estimation” and “Multicarrier Systems”).

SIGNAL PROCESSING FOR MEDICAL IMAGING

In medical imaging, statistical signal processing methods can be used to infer morphological and other hidden characteristics of the human body from measured signals. Within an interdisciplinary research project carried out in cooperation with a team at Cardiff University (UK), we developed advanced detection-estimation and preprocessing methods for high-resolution *optical coherence tomography* (OCT). OCT is a non-invasive, laser-based imaging technique that is especially useful for analyzing the retina. Our goal is to achieve a detailed mapping of the individual layers of the retina and to determine diagnostically relevant layer parameters. We are currently focusing on Bayesian sampling methods for detection-estimation problems and on preprocessing techniques that overcome certain limitations of current OCT instrumentation.

HOCHFREQUENZTECHNIK RADIO FREQUENCY ENGINEERING

In der Hochfrequenztechnik beschäftigen wir uns vorwiegend mit experimentell orientierter Forschung. Als ein Kennzeichen von Hochfrequenztechnik wird meist angesehen, dass die Abmessungen der verwendeten Baugruppen eine mit der Betriebswellenlänge vergleichbare Größenordnung erreichen.

SENDER UND EMPFÄNGER FÜR HOCHFREQUENZ-MESSSYSTEME

Um die Leistungsfähigkeit neuartiger Kommunikationssysteme in realistischen Anwendungen zu überprüfen, entwickeln wir hochwertige Sender und Empfänger. Bei diesen Geräten handelt es sich gewöhnlich um Lineartransponder, die einerseits mit der Antenne, andererseits mit einem digital arbeitenden Basisbandteil verbunden werden. Dabei bestehen hohe Anforderungen an die Flexibilität der Hochfrequenzeigenschaften, um ein große Vielfalt an Experimenten mit ein und derselben Hardware durchführen zu können. Wesentliche Parameter sind dabei beispielsweise Frequenzbereich, Bandbreite, Linearität, Sendeleistung, und Empfänger-Empfindlichkeit. Die Lineartransponder für das „Vienna MIMO (Multiple Input Multiple Output) Testbed“ standen am Beginn einer Reihe von Entwicklungen auf diesem Gebiet. In der Folge haben wir Sender und Empfänger für WIMAX, WLAN und RFID entwickelt und erfolgreich für die experimentelle Forschung eingesetzt. Gemeinsam mit einem industriellen Partner konnten unsere Entwicklungen auch kommerziell verwertet werden.

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION – RFID

RFID steht für eine Technologie, die zur Identifikation, Verfolgung und Kontrolle von Gütern mittels Funkwellen dient und daher nicht auf direkten Kontakt oder Sichtverbindung angewiesen ist. Diese Methode hält zurzeit rasanten Einzug in Bereiche wie Logistik oder elektronische Bemannung im Straßenverkehr.

Im Laufe der letzten Jahre wurden aufgrund der unterschiedlichen Anwendungserfordernisse zahlreiche Systemrealisierungen und Standards für RFID entwickelt. Um die Möglichkeit zu haben, für bestimmte Anwendungen alle relevanten Standards miteinander zu vergleichen, haben wir gemeinsam mit dem Christian-Doppler Labor für Designmethodik von Signalverarbeitungsalgorithmen ein universelles RFID Testsystem entwickelt und aufgebaut. Auf Softwareebene wird dabei die Funktionalität beliebiger Standards programmiert. Die zum Testsystem gehörenden Hochfrequenzbaugruppen ermöglichen die messtechnische Erfassung von realen Testfällen unter-

schiedlicher Systemvarianten. Weiters können verschiedene Antennenkonfigurationen miteinander verglichen werden. Die gängigsten Standards für das HF-Band (13,56 MHz) und das UHF-Band (868 MHz) haben wir bereits voll implementiert und in Betrieb.

Mit dem von uns gebauten Testsystem untersuchen wir derzeit multifunktionale Funkübertragungsbaugruppen, die auf die besonderen Anforderungen von RFID Systemen zugeschnitten sind. Auf Softwareebene werden neuartige Empfängerarchitekturen, die zusätzlich Ortungsfunktionalität bieten, untersucht. Weiters erforschen wir neue Modulations- und Codierungsverfahren, die hohe Zuverlässigkeit im Betrieb mit preisgünstigen Transpondern sicherstellen. Auch werden besondere Antennen entwickelt, die es ermöglichen, Transponder entweder bei 13,56 MHz oder bei 868 MHz zu betreiben. Für Lesegeräte werden Antennen, die eine hohe Entkopplung zwischen Sendee- und Empfangspfad erreichen, erforscht. Dies ist erforderlich, um die Reichweite zu erhöhen. Aktuell untersuchen wir im Rahmen eines vom FFG geförderten Industrieprojektes Transponderantennen, die direkt in einen Autoreifen vulkanisiert werden können. Im Zusammenspiel mit einem geeigneten Mikrochip werden wertvolle Messdaten wie Reifendruck, Temperatur und Verschleiß des Reifens in Echtzeit registriert.



Measurements on an automotive tire.

ULTRAWIDEBAND KOMMUNIKATION

Ultra-Breitband (ultra-wideband, UWB) Technologien sind auf Grund ihrer extrem hohen Bandbreite bei gleichzeitig niedriger spektraler Leistungsdichte vielfältig, und in Koexistenz mit anderen, vergleichsweise schmalbandigen Kommunikationsstandards wie zum Beispiel WLAN, einsetzbar. Die durch die extrem hohen Bandbreiten resultierenden Vorteile wie beispielsweise Robustheit gegen schmalbandige Störungen oder gegen Schwund bei Mehrwegeausbreitung werden gezielt beispielsweise bei den Anwendungen für Lokalisierung, Kommunikation in Sensornetzwerken, Materialprüfung, Bodenradar, oder drahtloses USB mit Vorteil genutzt.

In unserer Arbeitsgruppe werden extrem breitbandige, Puls-basierte Signale verwendet, um Nahbereichskommunikation mit niedriger Datenrate zu erforschen. Ein Ziel ist hier die präzise Ortung und Verfolgung von Menschen oder Objekten in geschlossenen Räumlichkeiten, wo andere Technologien wie z.B. globale Positionsbestimmungssysteme (GPS) wegen der Abschattung nicht einsetzbar sind.

Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung einer flexiblen Forschungs- und Entwicklungsplattform, zwar grundsätzlich basierend auf der IEEE Norm 802.15.4a, aber beliebig ausbaubar. Diese Plattform soll Sender- und Empfängerseitig die Charakterisierung einzelner Hardware-Komponenten ermöglichen. Des Weiteren sollen verschiedene Empfängerstrukturen miteinander verglichen, und die besonders leistungsfähigen implementiert werden. Die von uns entwickelte Einrichtung ist natürlich nicht dafür gedacht, möglichst integriert und energieeffizient zu arbeiten, sondern beispielsweise dafür, hochpräzise Lokisierungsalgorithmen zu erproben, oder adaptive Verfahren zur Erhöhung der Reichweite sowie zur Verminderung der Einflüsse von schmalbandigen Störern zu entwickeln.

ASTROPHYSIK UND SATELLITENKOMMUNIKATION

Im Bereich Astrophysik und Satellitenkommunikation beschäftigt sich unsere Gruppe primär mit der Kommunikation mit niedrig fliegenden Satelliten (LEO) für astrophysikalische Forschung. Derzeit unterstützen wir Kommunikation mit dem kanadischen Mikrosatelliten MOST (Microvariability and Oscillations of STars) und dem französischen Satelliten COROT (CONvection, ROTation and planetary Transits).

Für diese Satelliten wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Astronomie der Universität Wien eine Bodenstation an der Universitäts-Sternwarte errichtet. Für die Errichtung der Anlage an diesem Standort spricht, dass dort weniger elektromagnetische Störungen einfallen als an unserem Institut in der Wiener Innenstadt. Eine Parabolantenne mit 3m Durchmesser wird zum Empfangen der Beobach-

tungsdaten, eine Antennengruppe aus vier Yagi-Uda-Antennen zum Senden von Kommandos zu den Satelliten verwendet. Seit fünf Jahren ist die autonome, über Internet ferngesteuerte Station erfolgreich im Einsatz und liefert den Astrophysikern Zugang zu den Messdaten der Satelliten. Derzeit arbeiten wir an der Erweiterung der Kommunikationsmöglichkeiten mit weiteren Satelliten. Es wird dazu versuchsweise eine Erdefunkstelle an unserem eigenen Institut, also in der Wiener Innenstadt, errichtet werden. Den zu erwartenden elektromagnetischen Störnebel wollen wir unter anderem mit der an unserem Institut vorhandenen exzellenten Fachkompetenz auf dem Gebiet der digitalen Signalverarbeitung bekämpfen. Kommunikation ist geplant mit den ersten beiden österreichischen Mikrosatelliten TUGSAT-1/BRITE-Austria und UniBRITE, sowie mit weiteren Forschungssatelliten insbesondere aus dem studentischen Programm SSETI (Student Space Exploration and Technology Initiative) der Europäischen Weltraumbehörde (ESA).

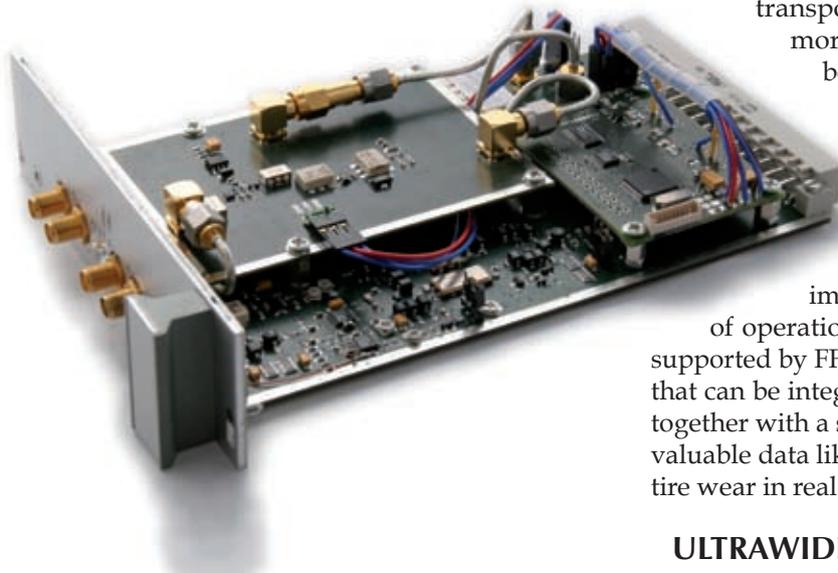
Mit der neuen Anlage wollen wir auch untersuchen, ob die kritische Behauptung, dass terrestrische UWB (ultra-wideband) Geräte den Empfang von Signalen aus dem Weltraum stören können, haltbar ist.



In the field of Radio Frequency Engineering we are primarily involved in experimental research. Radio Frequency Engineering methods have to be applied when the mechanical size of the building blocks becomes comparable to the operating wavelength of devices.

RADIO FREQUENCY MEASUREMENT HARDWARE

The way from a promising simulation result to its experimental verification often is impractical due to the lack of readily available radio-frequency hardware. The devices needed are best characterized as linear transponders, connected to an antenna at one port, and to a digital baseband processor at the second port. RF frontends for so-called scientific testbeds must be flexible and scalable, to allow for a multitude of experiments using only a single hardware realization. We are designing and implementing our own radio frontends especially for rapid prototyping of mobile radio systems. Different wireless technologies define different parameters for the analog radio frontend, like frequency band, bandwidth, linearity, transmit power, and receiver sensitivity. Our first linear transponder was developed for the "Vienna MIMO (Multiple Input Multiple Output) Testbed". In the following we have designed and built high performance radio frontends for WIMAX, WLAN and RFID. Together with an industrial partner, our radio frontends also could successfully be placed on the market.



Linear Transponder Hardware.

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION – RFID

RFID is a technology used to remotely identify, trace, and monitor goods by means of radio waves and thus without the need for physical contact or visual feedback. This rapidly emerging method is becoming widely used in applications like supply chain management or road pricing.

During the last years a number of RFID standards and systems were developed to conform to the variety of applications. Together with researchers of the Christian Doppler Laboratory for Design Methodology of Signal Processing Algorithms we have developed a versatile test system that allows comparing the performance of all relevant RFID standards when used in certain applications. In software, the functionality of any standard can be implemented and executed in real-time. Acquisition of the measurement data for a certain application is done by specially developed radio-frequency modules. The system also allows comparing different antennas and antenna configurations. The most frequently used standards for the HF-band (13.56 MHz) and the UHF-band (868 MHz) are already fully implemented and up and running.

With the test system we have developed now research is done on radio-frequency modules that fulfill the specific demands of an RFID system. At the software level new receiver architectures were developed that provide localization functionality. Also, new modulation and coding schemes that ensure reliable communication—especially with low-cost

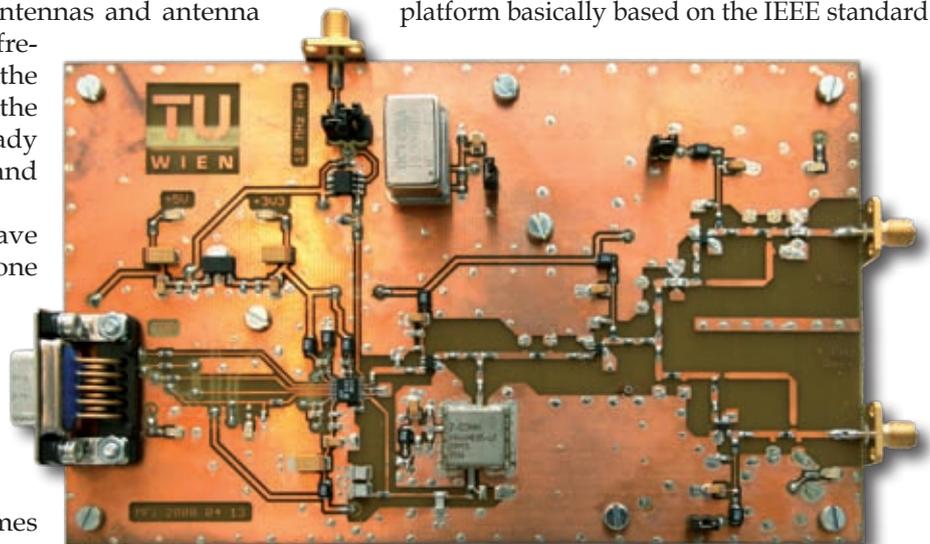
transponders—are investigated. Furthermore, special transponder antennas are being developed that operate in both, the 13.56 MHz and the 868 MHz frequency band. For RFID readers, antennas are investigated that achieve a very high suppression of the overspill between the transmitted and the received signal. This is important to increase the reader's range of operation. Presently, in an industrial project supported by FFG, we develop transponder antennas that can be integrated into car tires. This will enable, together with a suitable microchip device, to monitor valuable data like tire pressure, tire temperature, and tire wear in real time.

ULTRAWIDEBAND COMMUNICATIONS

Applications based on ultra-wideband (UWB) technology avail themselves of high fractional or absolute bandwidth, in combination with low power spectral densities. The first property increases immunity to multipath propagation effects, and the second enables coexistence with other, comparatively narrowband communication standards such as WLAN. Also, the influences of narrow-band interference and of channel quality fluctuations are minimized due to the high bandwidth of UWB signals. Therefore, various applications such as localization, tracking, communication in wireless sensor networks, materials testing, ground penetrating radar, or wireless USB consider UWB as their key technology.

In our group impulse based ultra-wideband (Impulse Radio UWB, IR-UWB) signals are used for low-data-rate, short-range communications. One research focus here is on indoor localization and tracking, where technologies like global positioning systems (GPS) cannot be used because of shadowing.

Another goal of our group is to develop an R&D platform basically based on the IEEE standard



UWB Radio Hardware.

802.15.4a, but extendable at will. This platform will enable research on hardware transmitter and receiver components, as well as comparison of various transmitter and receiver topologies. Of course, our focus here is not on energy efficiency and on integration of the circuits, but on a highly flexible, modular R&D platform to evaluate localization algorithms, to determine the maximum possible resolution in localization applications, to develop and compare adaptive methods for range enhancement and narrowband interference mitigation, and many more.

ASTROPHYSICS AND SATELLITE COMMUNICATIONS

Contributing to astrophysics research, we have designed and built, and are presently operating a scientific satellite ground station. Our communications targets are research satellites in Low Earth Orbits. In particular, we support data communication with the Canadian satellite MOST (Microvariability and Oscillations of Stars) and with the French satellite COROT (Convection, ROTation and planetary Transits).

Antennas and all ground station equipment was designed and built by our group, but has been set up at the Institute for Astronomy, University of Vienna, because of the better location of that institute with respect to unwanted reception of man made noise and

with respect to intermodulation effects caused by terrestrial mobile radio. For the reception of the weak satellite signal a parabolic dish with a diameter of 3m is used. For transmission of commands to the satellite an antenna group consisting of four Yagi-Uda antennas was chosen. Since five years the ground station operates fully autonomous, commanded via Internet, and downloads scientific data which is being forwarded to astrophysicists for interpretation.

Presently we are working on a second ground station, intended to support communication with additional satellites. We decided to evaluate the feasibility of a ground station at the electromagnetically noisy location of our own institute in downtown Vienna. The excellent competence of our institute in the field of digital signal processing should enable us to conquer the noise picked up by the antenna. Our new ground station will support communication with the first pair of Austrian microsatellites TUGSAT-1/BRITE-Austria and UniBRITE, as well as with other scientific satellites built in course of the SSETI (Student Space Exploration and Technology Initiative) program of the European Space Agency (ESA).

The new ground station will also be used to investigate if terrestrial UWB (ultra-wideband) communication causes interference in the reception of signals from space, as sometimes stated by opponents of this new technology.



Working on antenna infrastructure.

