

INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECHNIK UND HOCHFREQUENZTECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Forschungsaktivitäten
Oktober 1999 – Juni 2003

Research Activities
October 1999 – June 2003





Das Forschungszentrum Telekommunikation Wien (ftw.) wurde 1999 im Rahmen des Österreichischen *Kplus* Programms gegründet und verwirklicht die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft auf beispielhafte Weise:

Kooperatives Forschen als Grundidee des ftw.

Das partnerschaftliche Prinzip zieht sich durch vom obersten Lenkungsorgan des ftw. bis zur Kostenteilung und gemeinsamen Arbeit auf Projektebene.

Das Forschungsprogramm

Inhaltlich befasst sich das ftw. mit ausgewählten Gebieten der Telekommunikation, in denen bereits Spitzen-Know-how in Österreich existiert und zugleich ein Bedarf bei den beteiligten Unternehmen besteht. Alle Projekte des ftw. entstehen in einem Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Eine der wesentlichen Stärken unserer Forschung ist die übergreifende Bearbeitung von Forschungsthemen gemeinsam mit mehreren Firmen und Partnerinstituten der Technischen Universität Wien.

Know-how Transfer durch temporäre Abstellung von Mitarbeitern

Mitarbeiter von Partnerfirmen und -instituten arbeiten vor Ort gemeinsam mit den am ftw. angestellten Forschern.

Aus- und Weiterbildung durch Training „on the Job“

- Nachwuchsforscher arbeiten sich unter der Anleitung international anerkannter Experten auf einem Spezialgebiet ein
- Akademisch fortgeschrittene Wissenschaftler übernehmen Leitungsfunktionen in den Projekten und sammeln Erfahrung im Management

Serviceleistungen für unsere Partner und Kunden

- Forschungsaufträge
- Gutachten und Messungen
- Seminare und Workshops
- Lizenzvergaben

Eine jüngst durchgeführte externe Evaluierung durch internationale Top-Experten bestätigte die hohe wissenschaftliche Qualität und die wirtschaftliche Relevanz der bisherigen Forschungsergebnisse. Auf Grund dieser ausgezeichneten Bewertung wurde dem ftw. für die nächsten drei Jahre eine Förderung aus dem *Kplus*-Programm im Gesamtumfang von sieben Millionen Euro zugesagt. Damit sind die besten Voraussetzungen für neue Forschungsprojekte und für die Aufnahme zusätzlicher Unternehmenspartner geschaffen.

VORWORT

Diese Broschüre gibt, neben der jährlich erscheinenden Institutsdokumentation, einen anschaulichen Überblick über die laufenden Forschungsaktivitäten des Instituts für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik der TU Wien.

Im Rahmen des neuen Studienplans wirken wir an der Ausbildung der Elektrotechnik-Studenten ab dem 4. Semester mit. Der Schwerpunkt liegt im dritten Abschnitt im Studienzweig „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 Elektrotechnikstudenten. Unsere Diplomanden und Dissertanten beteiligen sich intensiv an der Bearbeitung von Forschungsprojekten und sind dabei in vielen Fällen mit aktuellen, industrienahe 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,
- ◇ dass wir uns um einen hohen Grad an Wechselwirkung zwischen scheinbar weit auseinanderliegenden Forschungsgebieten bemühen.

Im Oktober 2001 konnten wir Herrn Univ. Prof. Dr. Markus Rupp als neuen Kollegen gewinnen. Er vertritt das Fach „Digitale Signalverarbeitung in der Mobilkommunikation“ mit Schwerpunkt „Rapid Prototyping“. Im Juli 2002 wurde das an unserem Institut angesiedelte und von Prof. Rupp geleitete Christian-Doppler-Pilotlabor für Entwurfsmethodik für Signalverarbeitungsalgorithmen gegründet. Der industrielle Partner ist Infineon Technologies.

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 Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert. Wir waren auch maßgeblich an der Gründung des K-plus Kompetenzzentrums „Forschungszentrum Telekommunikation Wien (ftw.)“ beteiligt und sind der größte der dort mitwirkenden universitären Partner.

Unseren nationalen und internationalen industriellen Kooperationspartnern, unseren öffentlichen Auftraggebern, dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), der Österreichischen Nationalbank, der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) und der Europäischen Kommission danken wir für fruchtbare Zusammenarbeit.

Wien, im Juni 2003

(Univ. Prof. Dr. W. Leeb)
Institutsvorstand

(O. Univ. Prof. Dr. W. Mecklenbräuker)
Stellvertreter des Institutsvorstandes



Bringen Sie
der Technik
das LEBEN bei.

WIR MACHEN DAS LEBEN LEICHTER und stellen die Grenzen des Heute in Frage. Der Alltag wird dabei zum Ausgangspunkt unserer Ideen. Und es entstehen Halbleiterprodukte für die drahtgebundene und mobile Kommunikation, für Sicherheitssysteme und Chipkarten, die Automobil- und Industrieelektronik sowie Speicherbauelemente. Lösungen, die das ganz normale Leben entscheidend verändern. Entwickelt werden sie von mehr als 30.000 Menschen, die auf der ganzen Welt zusammenarbeiten: im Infineon-Team.

■ INFINEON TECHNOLOGIES IN ÖSTERREICH

Infineon
Technologies
Plant Villach

Development
Center Villach

Development
Center Graz

Development
Center Wien

DICE Linz

Comneon Linz

DIE INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA AG mit 2.080 Mitarbeitern in Villach ist Kompetenzzentrum für Leistungshalbleiter. Hoch qualifiziertes Personal und eine konsequente Qualitätssicherung (der Standort ist ISO- und CECC-zertifiziert) garantieren höchste Kundenzufriedenheit. Die Produkte aus Villach werden u. a. in der Kommunikations-, Automobil- und Antriebstechnik eingesetzt.

DIE INFINEON TECHNOLOGIES Microelectronic Design Centers Austria GmbH ist die größte Entwicklungseinheit für Mikroelektronik in Österreich und verfügt mit 520 Mitarbeitern in Villach, Graz, Wien und Linz über eines der bedeutendsten Forschungs- und Entwicklungspotenziale für die Planung und Umsetzung von Integrierten Schaltkreisen.

Infineon Technologies Austria AG · Human Resources

Siemensstraße 2 · 9500 Villach
E-Mail: austria.jobs@infineon.com

www.infineon.com/careers



Never stop thinking.

PREFACE

This brochure illustrates the strategic research activities of the Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik (Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering) at Vienna University of Technology. It complements our yearly report on teaching and current research activities.

Within the new curriculum we contribute to the academic training of the electrical engineering students from the fourth semester onwards, most prominently in the third (i.e. last) part of the curriculum for those students who specialize in “Telecommunications”. We offer courses covering the full range of subjects in modern communications and radio-frequency engineering, in some instances assisted by outside 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 hardware circuits,
- ◊ and that we strive for coherence between seemingly diverse topics.

In October 2001 we won Prof. Markus Rupp as a new member of our institute. He represents the field “Digital Signal Processing in Mobile Communications”, with emphasis on rapid prototyping. In July 2002 the Christian Doppler Pilot-Laboratory for Design Methodology for Signal Processing Algorithms was founded by Prof. Rupp. This new laboratory is affiliated with our institute and has Infineon Technologies as industrial partner.

Anticipating today’s call for the universities’ opening to economically relevant topics, we have been financing and continue to 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” (Telecommunications Research Center Vienna) of which we constitute 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 European Space Agency (ESA), and to the European Commission for fruitful cooperation.

Vienna, June 2003



(Univ. Prof. Dr. W. Leeb)
Head of Department



(O. Univ. Prof. Dr. W. Mecklenbräuker)
Deputy Head of Department



The Christian Doppler Research Association A Bridge to Austrian Research Competence

The CDG was founded in 1989 with the intention to bridging the research gap between universities and industry. Organized as an association of research-intensive firms, high level scientists and the public sector, CDG is an ideal Partner for those who plan to do excellent basic research in areas relevant to application.

Today 44 industrial enterprises are members of CDG, supporting 33 CD-Laboratories. They are located at universities or other research institutions, each one headed by an internationally renowned scientist. This creates informal and effective communication channels between the member companies and these research units.

The duration of a laboratory is generally 7 years, with one ore more industrial partners, and an annual budget between € 110.000,- and € 400.000,-. One half of our resources comes from our member companies, supporting specific research projects in the CD-Laboratories of their interest. The remaining 50% are provided by public sources (OeNB and BMWA).

Scientific quality is ensured by the "accompanying scientific monitoring" with evaluation events after the second and fifth research year.

The Association is now open to all companies and scientists who generate significant value added through research in Austria.

For details please visit our homepage <http://www.cdg.ac.at> or contact the General Secretariat of Christian Doppler Research Association, Weyringergasse 33/3, 1040 Vienna, Austria, Phone: +43/1/504 22 05, e-Mail: dobinger@cdg.ac.at



Dipl.-Ing. Dr. Hermann Bühler GmbH

Mobilfunk • Telekommunikation • Informationstechnik • Elektrotechnik

A - 2340 Mödling • Templerergasse 16 • Tel: 02236 2413012 • Fax: 02236 2413015
www.buehler.at • office@buehler.at

INHALT CONTENTS

VORWORT	1
PREFACE	3
IMPRESSUM	5
CODIERUNG UND DATENÜBERTRAGUNGSVERFAHREN CODING AND DATA TRANSMISSION	7
OPTISCHE DATENÜBERTRAGUNG OPTICAL DATA TRANSMISSION	9
ZEIT-FREQUENZ-SIGNALVERARBEITUNG TIME-FREQUENCY SIGNAL PROCESSING	12
DIGITALE SIGNALVERARBEITUNG DIGITAL SIGNAL PROCESSING	14
MOBILKOMMUNIKATION MOBILE COMMUNICATIONS	17
RAPID PROTOTYPING	22
CHRISTIAN-DOPPLER-PIOTLABOR CHRISTIAN DOPPLER PILOT-LABORATORY	23

IMPRESSUM

Erscheinungsjahr 2003
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: Univ. Prof. Dr. Walter Leeb
Gestaltung und Satz: Ing. Bernhard Wistawel
Druck: Ing. Christian Janetschek, 3860 Heidenreichstein

smart antenna radio network optimization



SYMENA is an innovative provider of software for system management for 3G mobile communications networks. The focus is on radio network optimization and Smart Antenna technology.

SYMENA is a spin-off company from the Mobile Communications Group of the Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering at the Vienna University of Technology, Austria.

SYMENA's network performance enhancement tools deliver significantly improved coverage and capacity with reduced capital expenditure by optimizing the deployment of network infrastructure.

This promise depends on leading edge knowledge of the latest mobile phone standards combined with automated optimization expertise. SYMENA's optimization software tools, CAPESSO, let operators deploy performance enhancing technology in the most effective and efficient manner by exploiting all of the benefits offered.

For example, with appropriate configurations, CAPESSO can generate savings in the order of 25% to 30% of the infrastructure cost.

SYMENA's advantage in this field is maintained by continued links with the University through the Institute of Communications and Radio Frequency Engineering.

SYMENA
Software & Consulting GmbH
Wiedner Hauptstraße 24/15
A-1040 Vienna, Austria

www.symena.com



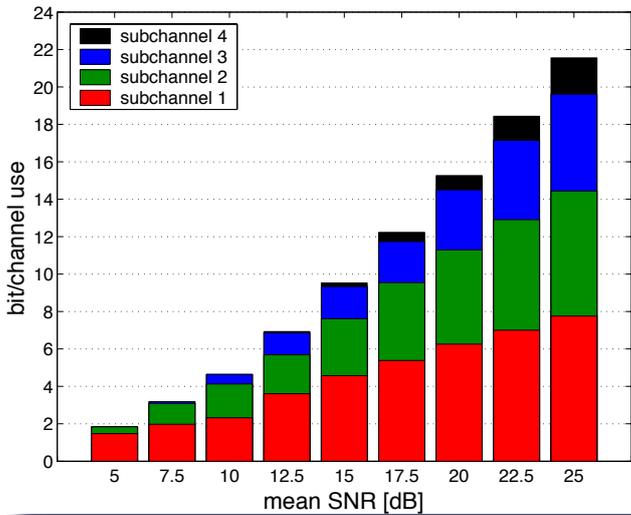
CODIERUNG UND DATENÜBERTRAGUNGSVERFAHREN CODING AND DATA TRANSMISSION

Seit den fundamentalen informationstheoretischen Erkenntnissen von C. Shannon weiß man, dass mit Hilfe von Codierung Information auch über gestörte Kanäle fehlerfrei übertragen werden kann. Störungen am Kanal begrenzen lediglich die Geschwindigkeit der Informationsübertragung. Im Rahmen der Informationstheorie wird jedem gestör-

wichtiger Schritt in Richtung Kanalkapazität war die Erfindung der Trellis Codierten Modulation (TCM) durch G. Ungerböck, einem Absolventen der TU Wien, vor etwa 25 Jahren und die darauf folgende Verallgemeinerung in Form der Block Codierten Modulation (BCM), die ursprünglich für Kanäle mit additiver Gaußscher Störung (AWGN-Kanäle) konzipiert wurden.

gerung der spektralen Effizienz von allergrößter praktischer Bedeutung.

Zur Realisierung möglicher Kapazitätsgewinne werden leistungsfähige Raum-Zeit-Codierverfahren benötigt. Wir untersuchen sowohl Raum-Zeit-Block-



Verteilung der Bitraten auf die virtuellen Subkanäle (Eigenmoden) eines Antennensystems mit 4 Sendeantennen und 4 Empfangsantennen bei unterschiedlichen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen (unkorrelierte Übertragungswege).

ten Übertragungskanal eine maximale Informationsrate, die Kanalkapazität, zugeordnet, bis zu der

TURBO-CODES

Verschachtelung einfacher Faltungscodes verbunden mit iterativer Decodierung ermöglicht eine praktisch fehlerfreie Datenübertragung bei minimalem Signal-zu-Rausch-Verhältnis.

Information prinzipiell fehlerfrei übertragen werden kann. In den letzten Jahrzehnten hat man sich bemüht, Übertragungsverfahren zu entwickeln, mit denen man in die Nähe der Kanalkapazität kommt. Die entsprechenden Übertragungsverfahren müssen dazu an den jeweiligen Übertragungskanal angepasst werden. Ein

Ein Schwerpunkt der Arbeit am Institut beschäftigt sich mit der Anpassung dieser Konzepte an Fading-Kanäle. Ziel ist die Bereitstellung von TCM- und BCM-Verfahren für unterschiedliche Coderaten.

TURBO-CODES

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeit sind Turbo-Codes und sogenannte LDPC (low density parity check)-Codes und deren iterative Decodierung. Mit diesen Verfahren kommt man auch in der Praxis bis auf wenige Zehntel dB an

das unbedingt notwendige Signal-zu-Rausch-Verhältnis für eine vorgegebene Kanalkapazität heran. Uns interessieren vor allem vereinfachte Decodierverfahren und deren Konvergenzverhalten und die Anpassung der Codes an verschiedene Übertragungskanäle.

MEHR-ANTENNEN-SYSTEME

Von großer theoretischer und praktischer Bedeutung sind derzeit Mobilfunksysteme mit mehreren Antennen-Elementen beim Sender und beim Empfänger. Sofern die einzelnen Teilübertragungsfunktionen statistisch unabhängig sind, ergeben sich damit enorme Kapazitätsgewinne. In Anbetracht der derzeitigen Mobilfunk-Lizenzgebühren ist die Stei-

MIMO-SYSTEME

Mehr-Antennen-Elemente beim Sender und beim Empfänger stellen mehrere unabhängige Funk-Übertragungswege zur Verfügung und ermöglichen damit eine wesentlich höhere Datenrate als Ein-Antennen-Systeme.

Codes als auch Raum-Zeit-Trellis-Codes und ihre Gewinne in Bezug auf eine größere Diversität bzw. eine Reduktion der benötigten Sendeleistung (Code-Gewinne).

Im Speziellen untersuchen wir derzeit adaptive Raum-Zeit-Codes für Funk-Übertragungssysteme mit mehreren Sendeantennen, die mit sehr wenig Kanal-Information, die vom Empfänger an den Sender zurück übertragen werden muss, auskommen und damit trotzdem beträchtliche Gewinne in Bezug auf Fehlersicherheit und Übertragungsgeschwindigkeit erzielen.

Von großem Interesse sind die Gewinneinbußen bei zunehmender Korrelation der Teilübertragungsfunktionen zwischen den einzelnen Antennen-Elementen. Mit zunehmender Korrelation gewinnen die adaptiven Antennen (smart antennas) mit einstellbarer Richtcharakteristik an Bedeutung. Diese Thematik wird von der Mobilfunkgruppe unseres Instituts seit längerer Zeit sehr erfolgreich bearbeitet.



MIMO SYSTEMS

Since Shannon obtained his fundamental results concerning error-free data transmission some 50 years ago, it is well known that channel noise limits the speed of information transmission rather than information security.

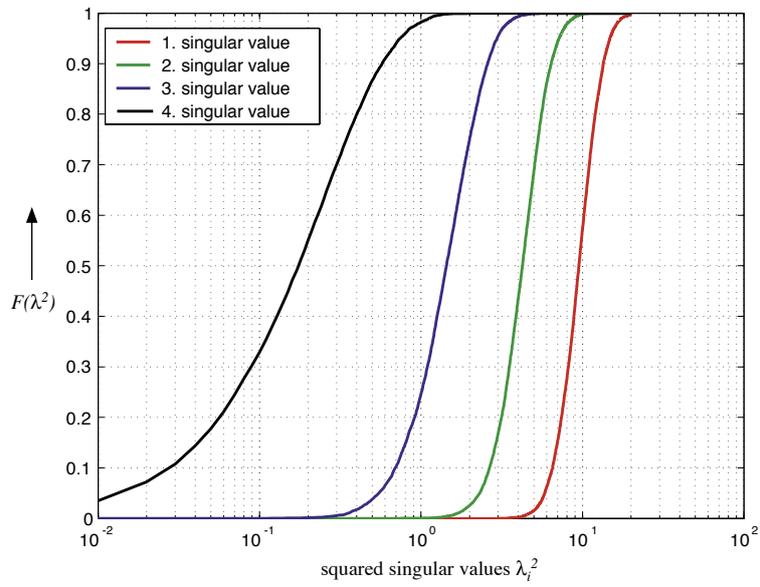
In recent years the invention of Trellis-Coded Modulation (TCM) by G. Ungerböck, a former student at our Institute, opened the way to transmission procedures operating very close to Shannon's channel capacity.

We adapted TCM and Block-Coded Modulation (BCM) methods to the Rayleigh fading channel. The aim of our research is to provide flexible general purpose codes for various applications.

TURBO CODES

We are also working on Turbo-Codes and LDPC (low density parity check) codes and their iterative decoding algorithms. We tried to adapt these methods to short length partial response channels and to develop simplified decoding algorithms.

Another important research topic covers multi-input/multi-output (MIMO) systems with several antenna elements at the transmitter and at the receiver. It has been shown that such systems provide huge channel capacities in case of uncorrelated transfer functions. We have developed adaptive transmit systems that use refined space-time codes to take advantage of some typical propagation scenarios. In particular, we investigate adaptive, quasi-orthogonal Space-Time Codes that manage to achieve a substantial improvement of reliability and information rate with only a small portion of feedback information about the channel characteristics.



Verteilungsfunktion der Singulärwerte (gain factors) der Kanalmatrix unkorrelierter Mobilfunkkanäle mit je vier Antennen-Elementen beim Sender und beim Empfänger.

OPTISCHE DATENÜBERTRAGUNG OPTICAL DATA TRANSMISSION

Information lässt sich nicht nur mit elektrischen Signalen sondern auch mit Laserlicht übertragen. Seitdem Halbleiterlaser und dämpfungsarme Glasfasern verfügbar sind, hat dieses Verfahren die leitungsgebundene Nachrichtenübertragung revolutioniert. Aber auch dort, wo keine Glasfasern verlegt werden können - also etwa zwischen Erdsatelliten - ist optische Kommunikation gefragt, wie der kürzlich erfolgte Start des weltweit ersten Versuchssystems (SILEX) gezeigt hat.

Wir forschen auf dem Gebiet empfindlicher optischer Empfänger, an Systemen für die Laserkommunikation im Weltraum (wobei auch die Quantenkommunikation ins Auge gefasst wird) und im Bereich der optischen Vielfachantennen zur direkten Beobachtung extrasolarer Planeten.

QUANTEN-KOMMUNIKATION

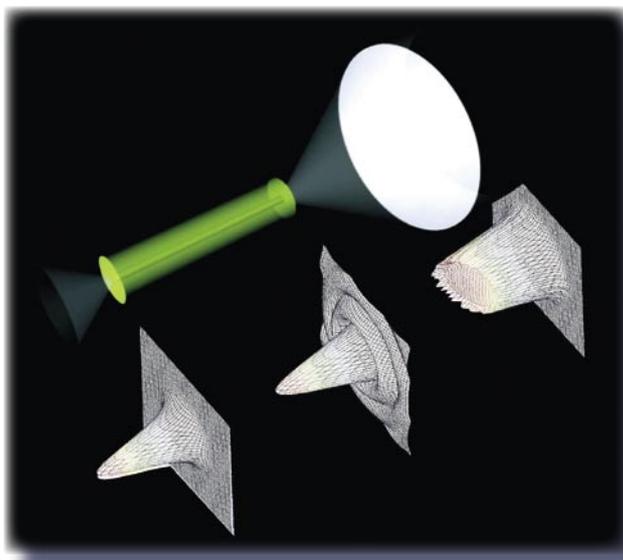
In einer von der Europäischen Weltraumbehörde ESA finanzierten Studie untersuchen wir gemeinsam mit der Abteilung Quantenexperimente von Prof. Zeilinger (Universität Wien) Konzepte zur optischen Datenübertragung, die auf der Quantenmechanik beruhen. Dabei wird die zu übertragende Information in Quantenzuständen codiert, z.B. in zwei unterschiedlichen Polarisationszuständen eines einzelnen Photons. Eine typische Anwendung wäre der Schlüsselaustausch für kryptographische Zwecke (Teleportation) zwischen einer Bodenstation und einem Satelliten. Das Ziel der Studie ist es, Experimente vorzuschlagen und zu spezifizieren, mit denen man fundamentale Eigenschaften der Quantenmechanik unter Verwendung vorhandener Weltraum-Infrastruktur demonstrieren kann.

HÖCHSTEMPFLINDLICHE OPTISCHE EMPFÄNGER

Bei hohen Datenraten bieten Empfänger mit optischer Vorverstärkung die attraktivste Lösung für Übertragungssysteme mit Glasfasern und für Freiraumsysteme. Sie versprechen höchstmögliche Empfindlichkeit nahe dem Quantenlimit. Dadurch werden die Anforderungen an Zwischenverstärker reduziert, ihr Abstand kann größer gehalten werden, die Systemreserven erhöhen sich. Wir untersuchen den Einfluss kritischer Systemparameter auf die Empfängerempfindlichkeit, darunter die Bandbreite des optischen und des elektrischen Filters sowie die Form der optischen Eingangsimpulse und deren Auslöschungsverhältnis. Bei einer Wellenlänge von $1,5 \mu\text{m}$ und einer Datenrate von 10 Gbit/s haben wir Experimente unter Verwendung eines Erbium-dotierten Vorverstärkers (EDFA) und eines Faser-Bragg-Gitters als optisches Filter durchgeführt. Bei return-to-zero (RZ) codiertem Eingangssignal wies unser Empfänger bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-9} eine Rekordempfindlichkeit von nur 52 Photonen pro bit auf. Das liegt nur 1,4 dB über dem Quantenlimit. Wie aus analytischen und numerischen Berechnungen erwartet, liefern RZ-codierte Signale eine um ca. 1 dB bessere Eingangsempfindlichkeit als NRZ-Signale (non-return-to-zero).

Ein anderes Übertragungsexperiment bei 10 Gbit/s sollte den Weg für eine Anwendung in einer Inter-Satellitenverbindung ebnen. Unser Versuchsaufbau

bestand aus einem optischen Sender mit einer linear polarisierten Sendeleistung von 1 W und einem Empfänger mit EDFA-Vorverstärkung. Das Ziel war die Bestimmung der Empfängerempfindlichkeit eines Systems, in dem alle Schlüsselkomponenten (der DFB-Laser mit integriertem Modulator, der EDFA-Leistungs- und der EDFA-Vorverstärker, das optische Filter, das elektrooptische Empfangsmodul) aus kommerziell erhältlichen Baugruppen bestehen, wie sie für Glasfasersysteme entwickelt wurden. In diesem Fall erzielten wir eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-6} bei einer Eingangsleistung von $-41,5 \text{ dBm}$ (entsprechend 55 Photonen/bit).



A distorted optical field (upper right) is focused onto the input face of a piece of single mode fiber (green). The output field is purely single-moded (lower left), allowing for a high rejection ratio in an interference setup with a phase shift of π .

scheinlichkeit von 10^{-6} bei einer Eingangsleistung von $-41,5 \text{ dBm}$ (entsprechend 55 Photonen/bit).

LASERVERBINDUNGEN ZWISCHEN MIKRO-SATELLITEN

Wir untersuchten geeignete Architekturen und Konfigurationen von optischen Datenendgeräten für den Einsatz innerhalb eines Schwarms von Mikro-Satelliten. Typische Anwendungen solcher Mikro-Satelliten-Schwärme wären phasenstarr gekoppelte Teleskope, interfero-

metrische Messgeräte der Astronomie und Radarerkundung vom Weltraum aus. Die Endgeräte sollten ohne automatische Nachführung oder Feinausrichtung der optischen Antennen auskommen, wie sie bei optischen Freiraumverbindungen über große Distanzen nötig ist. Auch eine eventuelle Grobausrichtung muss möglichst einfach sein. Als ein Beispiel behandelten wir ein Szenario, in dem vier Mikro-Satelliten eine planare, quadratische Formation mit 1 km Seitenlänge bilden. Die Datenrate beträgt 100 kbit/s, eine integrierte Lidarfunktion erlaubt eine gegenseitige Abstandsbestim-

entwickeltes Leben. Um Planeten sichtbar zu machen, die sonst vom benachbarten Stern bei weitem überstrahlt werden, addiert man die optischen Signale mehrerer freifliegender Teleskope in einem Interferometer kohärent. Zunächst analysierten wir mögliche Realisierungen von DARWIN und untersuchten die Auswirkung stochastischer Störungen der Teleskopgruppe sowie aktiv geregelter Komponenten. Gemeinsam mit Astrium Space GmbH (Deutschland) und TNO TPD (Niederlande) realisieren wir zur Zeit einen Labor-Versuchsaufbau zum Testen der Unterdrückung

glass fibers, this method has revolutionized terrestrial data transfer. But even where no glass fibers can be laid - e.g. between satellites - optical communications is an attractive choice, as demonstrated recently by the world-wide first launch of a preoperational system (SILEX).

SENSITIVITY

An optical receiver with high sensitivity needs only a few photons per bit for reliable data detection.

We perform research in the fields of highly sensitive optical receivers and laser communication in space (including the concept of quantum communication), and we investigate phased array telescopes aiming at the direct observation of extra-solar planets.

QUANTUM COMMUNICATIONS

In a project financed by the European Space Agency ESA we teamed up with Prof. Zeilinger's group at Vienna University to investigate concepts for optical space communications based on the principle of quantum mechanics. In this case, information is encoded in quantum states, e.g. in two different polarizations of a single photon. Typical applications would be quantum key distribution (teleportation) along a link between a ground station and a low-Earth-orbiting satellite. The specific objective of this study is to conceive and define experiments for demonstrating fundamentals of quantum mechanics, which advantageously use existing space infrastructure.

HIGHLY SENSITIVE OPTICAL RECEPTION

Receivers with optical preamplifiers present the most attractive choice for high-data-rate laser links along glass fibers and through free space. They promise excellent sensitivity, which in turn reduces mid-span amplifier requirements, extends link distances, and provides additional system margin. We investigate the



des bei D A R W I N extrem störenden Sternlichtes. Ein erster Schritt zur praktischen Realisierung von DARWIN stellt das ESA Projekt „Single-Mode Fibers for DARWIN“ dar. Darin wird eine Single-Mode-Faser für den Bereich von 4 μm bis 20 μm entwickelt, die als räumliches

mung mit einer Genauigkeit von besser als 10 m. Bei einer Wellenlänge von 980 nm beträgt die Sendeleistung eines Terminals 160 mW, die Empfangslinse hat einen Durchmesser von 5 mm. Größe, Masse und Leistungsverbrauch des Endgerätes wurden mit 60x80x70 mm³, 900 g bzw. 5 W abgeschätzt.

Modenfilter dienen soll. Im Rahmen dieses Projekts werden wir die vom Partner ART Photonics (Deutschland) hergestellten Silberhalid-Fasern mit Hilfe eines im mittleren Infrarot arbeitenden Mach-Zehnder Interferometers auf Monomodigkeit und Eignung zur Modenfilterung untersuchen.

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

OPTISCHE ANTENNENGRUPPEN ZUR SUCHE UND BEOBACHTUNG EXTRASOLARER PLANETEN

Das Infrarot-Weltraumteleskop DARWIN der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) soll der Untersuchung erdähnlicher extrasolarer Planeten dienen - man erwartet sich Hinweise auf höher

To transmit information one may not only employ electrical signals but may also use laser light. Since the availability of semiconductor lasers and low-loss

dependence of receiver sensitivity as a function of various parameters, the most prominent being the bandwidth of the optical filter and the detection electronics, the optical pulse form, and the extinction ratio. We perform experiments at a data rate of up to 10 Gbit/s at a wavelength of 1.5 μm , employing an erbium-doped fiber pre-amplifier (EDFA) and a fiber Bragg grating as optical filter. For return-to-zero (RZ) coding, our receiver featured a record sensitivity of 52 photons per bit at a bit-error probability of 10^{-9} . This is just 1.4 dB above the quantum limit. As expected from analytic results and simulations, RZ coding outperforms non-return-to-zero (NRZ) coding by more than 1 dB.

Another 10 Gbit/s transmission experiment should pave the way to a future application in an inter-satellite link. Our breadboard included a transmitter with 1 W linearly polarized optical output power and an optically preamplified receiver. The main objective was to determine the receiver sensitivity in a system where the key elements (DFB laser with integrated electro-absorption modulator, booster and preamplifier EDFAs, optical filter, receiver front-end) are implemented with commercially available devices developed for terrestrial fiber links. Here the required bit-error probability was $\text{BEP} = 10^{-6}$. It was achieved with an input power as low as -41.5 dBm (corresponding to 55 photons/bit).

OPTICAL TERMINALS FOR MICROSATELLITE SWARMS

We studied terminal architectures and configurations for optical cross-links within microsatellite swarms and assessed the applicability of available technologies. Typical applications for microsatellite swarms are phased array telescopes, interferometric missions, and space-based radar for Earth observation. The terminals should do without automatic tracking or fine pointing, as usually required for optical free-space systems bridging large distances.

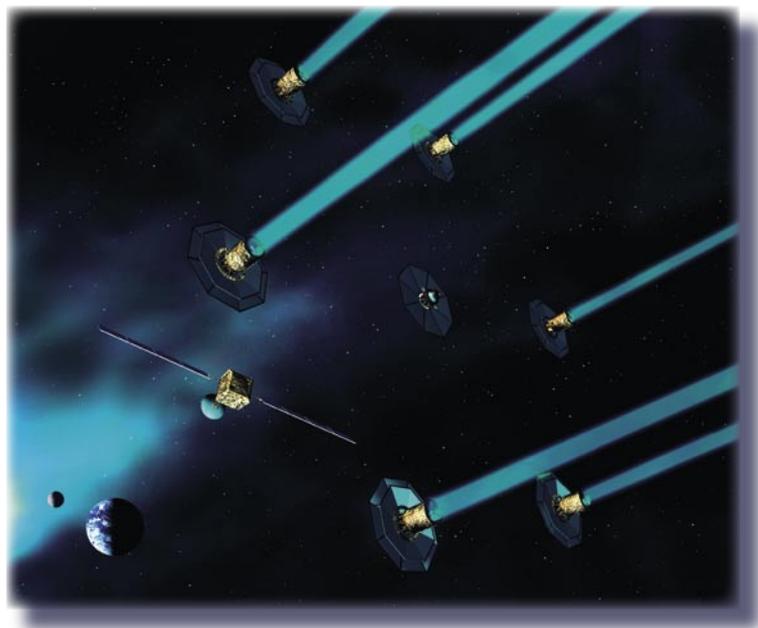
Coarse pointing should be simple. As an example we covered a scenario where four microsatellites form a planar, square formation of 1 km side length, where the data rate is 100 kbit/s, and where an active double-pass lidar between each of the satellites provides a ranging accuracy of better than 10 m. The terminal transmit power is about 160 mW at a wavelength of 980 nm, the receive apertures have a diameter of 5 mm, and the size, weight, and power requirement of one terminal is estimated to be 60x80x70 mm³, 900 g, and 5 W, respectively.

OPTICAL ANTENNA ARRAYS FOR SEARCHING AND PROBING EXTRA-SOLAR PLANETS

ESA's infrared telescope array DARWIN shall investigate Earth-like extra-solar planets – with the

chastic alignment errors, which both will be actively controlled. Together with Astrium Space GmbH (Germany) und TNO TPD (The Netherlands) we presently set up a breadboard to test the rejection of the highly disturbing sun light. A first step towards a practical realization of DARWIN is ESA's project „Single-Mode Fibers for DARWIN“. Here a single-mode fiber for the 4 μm to 20 μm region shall be developed, which has to act as a spatial mode filter. Within this project we will test Silver-Halide fibers (to be manufactured by ART Photonics, Germany) in a mid-infrared Mach-Zehnder interferometer to determine its single-modedness and its ability to suppress higher order modes.

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



Looking for Earth-like planets
 DARWIN's six telescopes receive light from space and analyse the atmospheres of Earth-like planets.
 Copyright ESA 2002, Illustration by MediaLab

aim to find hints for life. In this instrument, the output of several free-flying telescopes will be added coherently in an interferometer to achieve an ultra-narrow antenna pattern. – First we analyzed possible implementations of DARWIN and studied the influence of stochastic disturbances of the array geometry and of sto-

ZEIT-FREQUENZ-SIGNALVERARBEITUNG TIME-FREQUENCY SIGNAL PROCESSING

Zeit-Frequenz-Signaldarstellungen kombinieren den Zeitbereich mit dem Frequenzbereich (Spektralbereich). Dieser Ansatz ergibt leistungsfähige Methoden zur Analyse und Verarbeitung hochgradig instationärer Signale. Von großer praktischer Bedeutung sind auch Zeit-Frequenz-Modelle für zufällige zeitvariante Mobilfunkkanäle sowie für zeitvariante Systeme, wie sie zur Verarbeitung von Nachrichtensignalen verwendet werden.

Unsere derzeitigen Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die folgenden Themen:



ZEIT-FREQUENZ-METHODEN ZUR INSTATIONÄREN STATISTISCHEN SIGNALVERARBEITUNG

Unsere Zeit-Frequenz-Methoden zum Entwurf und zur Implementierung instationärer Signalschätzer und -detektoren zeichnen sich durch statistische Robustheit und numerische Effizienz aus. Neuartige Zeit-Frequenz-Leistungsdichtespektren ermöglichen eine hochauflösende Spektralanalyse instationärer Zufallssignale.

ZEITVARIANTE SYSTEME UND KANÄLE

Wir entwickeln und untersuchen „Zeit-Frequenz-Filter“, die eine einfache Spezifikation zeitvarianter Filtercharakteristiken in einem kombinierten Zeit-Frequenz-Bereich erlauben. Weiters verwenden wir Zeit-Frequenz-Konzepte zur Modellierung und Simulation von zeitvarianten Systemen und Mobilfunkkanälen.

SIGNALVERARBEITUNG FÜR OFDM- UND DVB-T-SYSTEME

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ist ein flexibles Zeit-Frequenz-Modulationsverfahren für die breitbandige drahtlose Kommunikation. Für OFDM-Systeme entwickeln wir Algorithmen zur Kanalschätzung bzw. -prädiktion, Zeit-Frequenz-Synchronisierung und Impulsoptimierung. Ein anwendungsorientiertes Projekt befasst sich mit der Analyse von Gleichkanal-Interferenz in zellularen DVB-T-Netzen (DVB-T = Terrestrial Digital Video Broadcasting, ein OFDM-basierter Standard für die digitale Fernsehübertragung).

RAUM-ZEIT-MODULATION

Wir entwickeln ein neuartiges Raum-Zeit-Modulationsverfahren („Matrix-Modulation“) für die Datenübertragung über Funkverbindungen mit Mehrfachantennen. Matrix-Modulation erlaubt eine Erhöhung der Bitraten und die Ausnutzung der verfügbaren Raum-Frequenz-Diversität auch ohne Kenntnis der Kanaleigenschaften. Ein effizienter iterativer Decodieralgorithmus ermöglicht den praktischen Einsatz des neuen Verfahrens.

SIGNALVERARBEITUNG FÜR UMTS

In Kooperation mit der Mobilkommunikationsgruppe des Instituts setzen wir fortschrittliche Signalverarbeitungsalgorithmen zur Analyse von Gleichkanal-Interferenz in UMTS-Netzen ein (UMTS = Universal Mobile Telecommunications System).

Unsere Forschungsarbeiten werden unterstützt durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF-Projekt „Advanced Multicarrier Systems for Wireless Communications“) und durch die Europäische Union (EU/IST-Projekt ANTIUM = Advanced radio NeTwork Identification equipment for Universal Mobile communications).

<http://www.nt.tuwien.ac.at/dspgroup/time.html>



Joint time-frequency signal representations combine the time domain with the frequency (Fourier transform) domain. They provide powerful tools for analyzing and processing highly nonstationary signals. Of great practical importance are also time-frequency models for random time-varying mobile communication channels, and for time-varying systems used for processing communication signals.

MATRIX MODULATION

is a novel space-time modulation technique that achieves high bit rates over multi-antenna wireless links. It is specifically suited to the practically important situation of unknown channel characteristics.

Our current research concentrates on the following topics:

TIME-FREQUENCY METHODS FOR NONSTATIONARY STATISTICAL SIGNAL PROCESSING

Our time-frequency designs and implementations of nonstationary signal detectors and estimators have significant advan-

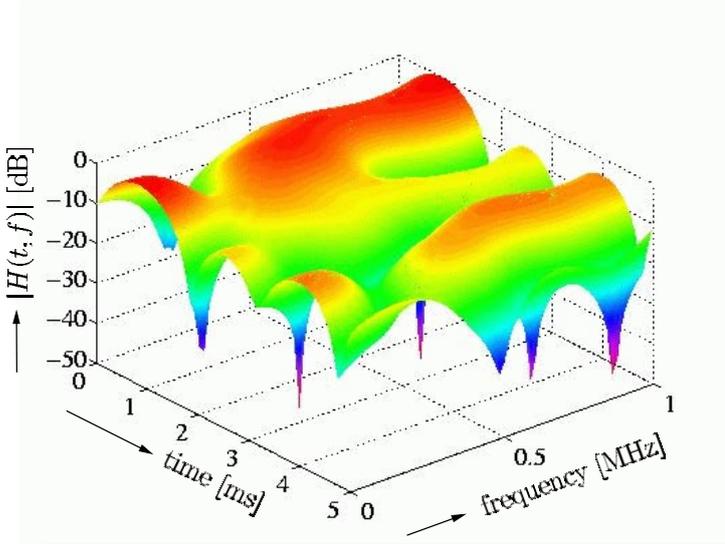
tion/prediction, time-frequency synchronization, and pulse optimization within OFDM systems. As a practical application, we devise algorithms for the analysis of co-channel interference within cellular DVB-T networks (DVB-T = Terrestrial Digital Video Broadcasting, an OFDM-based standard for digital TV broadcasting).

SIGNAL PROCESSING FOR UMTS

In collaboration with the Mobile Communications Group, we use advanced signal processing to analyze co-channel interference within UMTS networks (UMTS = Universal Mobile Telecommunications System).

Our research is funded by the Austrian Science Fund (FWF project "Advanced Multicarrier Systems for Wireless Communications") and by the European Union (EU/IST project ANTIUM = Advanced radio NeTwork Identification equipment for Universal Mobile communications).

<http://www.nt.tuwien.ac.at/dspgroup/time.html>



Zeit-Frequenz-Übertragungsfunktion eines Mobilfunkkanals.
Time-frequency transfer function of a mobil radio channel.

tages regarding statistical robustness and numerical efficiency. Novel time-frequency power spectra perform a high-resolution spectral analysis of nonstationary random signals.

TIME-VARYING SYSTEMS AND CHANNELS

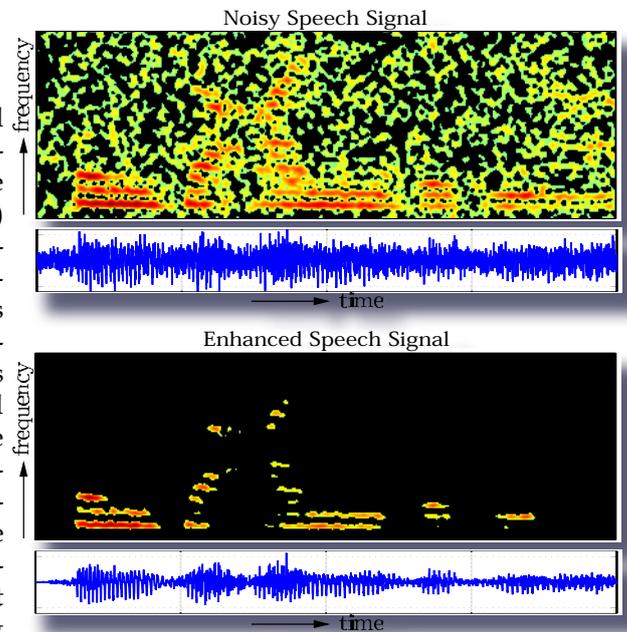
We develop and study "time-frequency filters" that allow an easy specification of time-varying filter characteristics in a joint time-frequency domain. We are also applying time-frequency concepts to the modeling and simulation of time-varying systems and mobile radio channels.

SIGNAL PROCESSING FOR OFDM AND DVB-T SYSTEMS

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a versatile time-frequency modulation technique for broadband wireless communications. We develop algorithms for channel estima-

SPACE-TIME MODULATION

We develop a novel space-time modulation technique ("matrix modulation") for data communications over multi-antenna wireless links. The matrix modulation scheme allows to boost bit rates and exploit the available space-frequency diversity even if the channel characteristics are unknown. A computationally efficient iterative decoding algorithm enables the application of matrix modulation to real-world systems.



Sprachentstörung mittels Zeit-Frequenz-Filter: Zeit-Frequenz-Darstellung und Signalverlauf des verrauschten Sprachsignals (oben) und des entstörten Sprachsignals (unten).

Speech enhancement by means of a time-frequency filter: Time-frequency representation and time-domain waveform of the noisy speech signal (top) and the denoised (enhanced) speech signal (bottom).

DIGITALE SIGNALVERARBEITUNG DIGITAL SIGNAL PROCESSING

SPRACH- UND AUDIOKOMMUNIKATION

Ausgehend von der Sprachtelefonie hat sich der nachrichtentechnische Zugang zur Verarbeitung von Sprache und von Tonsignalen in den letzten Jahren stürmisch entwickelt. Die digitale Sprachübertragung über eine Vielzahl von Netzen (Festnetz, Mobil-

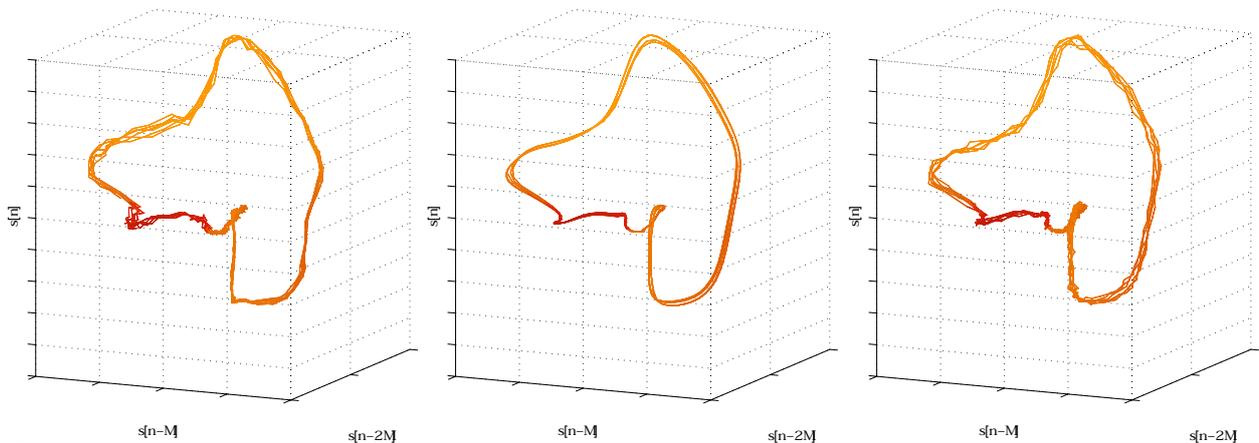
funk kann damit eine Unterdrückung von Störsignalen und bessere Qualität für die Telefonie erzielt werden.

SPRACHSYNTHESE

Bei der Weiterentwicklung von Dialogsystemen konzentrieren wir uns derzeit auf Signalverarbeitungsalgorithmen für die Sprachausgabe. Die künstliche Erzeu-

haben sich auch schon bei der physikalischen Modellierung von Musikinstrumenten bewährt.

Außerdem beschäftigen wir uns mit einzelnen Problemstellungen der Sprachsignalanalyse und Spracherkennung, wie etwa der Verbesserung der Signalvorverarbeitung für Spracherkennung oder der Grundfrequenzbestimmung.



Phasenraumdarstellung eines Vokals (/o/, männlicher Sprecher). Bild 1: Phasenraumdarstellung des natürlichen Sprachsignals. Bild 2: Modellierung durch das Oszillatormodell. Im künstlichen Sprachsignal fehlt perceptiv ein Anteil bei höheren Frequenzen. Bild 3: Für die korrekte Regenerierung des Sprachsignals wird dem Oszillatormodell ein moduliertes Rauschsignal zugesetzt; es wird dadurch ein perceptiv besseres Ergebnis erzielt.

funk, Internet) wird ergänzt durch die Automatisierung des Informationszugangs mit gesprochener Sprache in der sprachgesteuerten Gerätebedienung sowie in Diktiersystemen und Dialogsystemen mit künstlicher Sprachausgabe.

ADAPTIVE SIGNALVERARBEITUNG

Im Bereich der digitalen Signalverarbeitung arbeiten wir an einer Vielzahl von Problemstellungen der Sprach- und Audiokommunikation. Das Forschungsgebiet umfasst etwa die Entstörung veräuschter Audiosignale in Echtzeit mit Hilfe adaptiver Filter und Filterbänke. In Kooperation mit einem Industriepartner werden derzeit Anwendungen adaptiver, ein- und zweidimensionaler Mikrofon- und Lautsprecherarrays für Freisprechanlagen im Auto untersucht. Analog zu den Mehrantennensystemen im Mobil-

funk natürlich klingender Sprachsignale erfordert die enge Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen der Computerlinguistik und der digitalen Signalverarbeitung. Projekte finden daher in interdisziplinärer und internationaler Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstitutionen und Industriepartnern statt.

Für die Erzeugung künstlicher Sprachsignale hat die Erforschung nichtlinearer Signalmodelle besondere Bedeutung erlangt. So kann mit einem nichtlinearen Oszillatormodell (siehe auch Abschnitt „Nichtlineare Signalverarbeitung“) synthetische Sprache hoher Qualität erzeugt werden. Dabei werden die Modellparameter anhand von natürlichen Sprachsignalen „gelernt“ und die Eigenschaften der menschlichen Sprache bei der Synthese reproduziert. Ähnliche nichtlineare Systeme

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Forschungsgruppe ist Mitglied im ESPRIT Network of Excellence in Language and Speech (ELSNET), im Socrates Thematic Network Speech Communication Sciences und in den COST-Aktionen 258 „Die Natürlichkeit der synthetischen Sprache“ und 277 „Nichtlineare Sprachsignalverarbeitung“.

NICHTLINEARE SIGNALVERARBEITUNG

Nichtlinearität stellt in zahlreichen Signalverarbeitungssystemen eine wesentliche Komponente dar: klassische Beispiele sind Quantisierer, Detektoren und Klassifizierer. Als vielseitiges Werkzeug zur Modellierung solcher statischer Nichtlinearitäten haben sich Neuronale Netze erwiesen, z.B. für die automatische Sprach- und Bilderkennung. Die

Architektur von Neuralen Netzen basiert auf verteilter paralleler Signalverarbeitung und ist daher äußerst attraktiv für Anwendungen mit hohen Geschwindigkeits- und Komplexitätsanforderungen. Aber auch bei dynamischen oder gedächtnisbehafteten nichtlinearen Systemen, wie z.B. Oszillatoren oder Filtern, bietet der explizit nichtlineare Zugang Vorteile gegenüber der üblichen Linearisierung. Am Institut werden derzeit Oszillatormodelle zur Synthese natürlicher Sprachsysteme entwickelt.

CHAOSTHEORIE

Mit Methoden der Chaostheorie – also der Theorie nicht vollständig vorhersagbaren Verhaltens in deterministischen Systemen – kann die stochastische Signalmodellierung ergänzt werden durch nichtlineare deterministische Systeme bzw. Oszillatoren. Chaostheoretische Analyseverfahren erlauben Aussagen über lokale/globale Stabilität, Dimensionalität oder Informationsproduktionsrate von Signalen und Systemen. Nichtlineare Verfahren werden angewandt zur Analyse einer Reihe natürlicher Signale, wie z.B. menschlicher Sprache oder biomedizinischer Signale (EKG, EEG,...). Die Vorhersage oder Prädiktion von Signalen oder Systemparametern ist ein Anwendungsgebiet von großer Bedeutung, da mit nichtlinearen Modellen oft eine bessere Vorhersage erzielt werden kann als durch lineare Prädiktion. Das wurde von uns z.B. für die Vorhersage von Lastkurvendaten von Energieversorgungsunternehmen oder bei der nichtlinearen Modellierung von Mobilfunkkanälen gezeigt.

NICHTLINEARE STATISTIK

Die nichtlineare Statistik umfasst nichtlineare Zusammenhänge in der statistischen Signalmodellierung, Signalanalyse mit Statistiken höherer Ordnung sowie informationstheoretische Ansätze. Mittels letzterer kann etwa durch Schätzung der Transinformation eine Aussage über

die Vorhersagbarkeit von Zeitreihen getroffen werden. Dieser maximale Vorhersagegewinn ist das praktische Optimum für alle Vorhersagealgorithmen und kann daher als „Messlatte“ für implementierte Prädiktoren herangezogen werden. In einem mit dem Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung in Leipzig durchgeführten Projekt wurde gezeigt, dass der maximale Vorhersagegewinn auch Eigenschaften der Signalquelle charakterisiert. So ergibt sich z.B. für das Sprachsignal eines emotionell erregten Sprechers ein generell niedrigerer Vorhersagegewinn als bei neutraler Emotion.

DSP CODE-OPTIMIERUNG

Die Leistungsfähigkeit moderner Signalprozessoren kann nur durch effiziente Programme ausgenutzt werden. Wir entwickeln Algorithmen für die automatische Generierung und/oder Optimierung von Programmen für Signalprozessoren. Dabei sind verschiedene gekoppelte, kombinatorische Optimierungsprobleme zu lösen. Diese Problemstellungen werden entsprechend einem interdisziplinären Ansatz in Diskussion mit Spezialisten der Informatik und der diskreten Mathematik bearbeitet.

Dieser Thematik kommt auch eine bedeutende Rolle bei der Entwicklung moderner Geräte zu, beispielweise im Bereich der Telekommunikation und insbesondere der Mobilkommunikation. Hier sind immer komplexere Algorithmen zu implementieren, und dies mit möglichst geringen Anforderungen an die Hardware, wie Taktfrequenz, Stromverbrauch, Speicherbedarf oder Chipfläche. Dies kann nur durch spezielle Architekturen und hochgradig optimierte Programme erreicht werden. Daher bestehen auf diesem Gebiet enge Kooperationen mit industriellen Partnern.

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



SPEECH AND AUDIO COMMUNICATIONS

Emerging from voice telephony, the communications engineer's approach to processing of speech and audio signals has come of age recently. Digital voice transmission over a variety of networks (fixed, mobile, internet) is complemented by automatic information access via speech interfaces as in voice controlled appliances, dictation systems, and dialog systems with synthetic voice output.

ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING

In the field of digital signal processing, we are concerned with a variety of tasks in speech and audio communications. Our research comprises, e.g., real-time enhancement of noisy audio signals using adaptive filters and filterbanks. In cooperation with partners from industry we currently investigate the application of adaptive one-dimensional and two-dimensional microphone and loudspeaker arrays to hands-free telephony in cars. Analogous to antenna arrays in mobile communications, these methods yield a significant reduction of ambient noise.

SPEECH SYNTHESIS

For dialog systems we currently concentrate on signal processing algorithms for speech output. Synthesis of naturally sounding speech relies on the close cooperation of researchers in computer linguistics and in digital signal processing. Projects are thus carried out in interdisciplinary and international cooperation with other research institutes and partners from industry.

Research into nonlinear signal models for speech synthesis has attained special importance. A nonlinear oscillator model (see also the section "Nonlinear Signal Processing") is able to synthesize speech of very high quality. Model parameters are „learned“ from natural speech samples and the natural human speech quality is preserved during synthesis. Similar nonlinear system models have

been successfully applied to the physical modeling of musical instruments. We are also working on certain tasks in speech analysis and recognition, like improved preprocessing for speech recognizers and fundamental frequency extraction.

INTERNATIONAL COOPERATION

The research group is a member of the ESPRIT Network of Excellence in Language and Speech (ELSNET), the Socrates Thematic Network Speech Communication Sciences, and the COST Actions 258 "The Naturalness of Synthetic Speech" and 277 "Nonlinear Speech Processing".

high-complexity applications. Also for nonlinear dynamic systems, like oscillators or filters, the nonlinear approach is advantageous compared to linearization.

CHAOS THEORY

Transferring methods from chaos theory – i.e., the theory of limited predictability of the evolution of deterministic systems – stochastic signal modeling can be complemented by nonlinear deterministic systems/oscillators. Chaos-theoretic analysis techniques reveal nonlinear signal and system properties such as local/global stability, dimensionality, or information production rate.

Nonlinear methods are being applied to the analysis of natural signals like speech or biomedical signals (ECG, EEG,...). Signal or system parameter prediction is a field of great importance since nonlinear models are often capable of yielding better prediction accuracy than linear predictors. This was exploited, e.g., for the prediction of load curves in energy management systems and for nonlinear modeling of the time evolution of mobile radio channels. At our institute, oscillator models for the synthesis of natural sounding speech signals are being investigated.

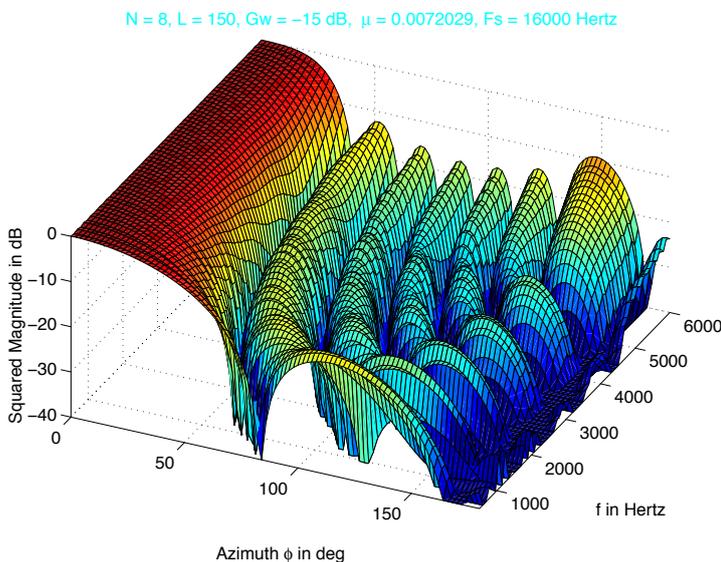
time series by estimation of mutual information. The maximum prediction gain can be used as a reference for implementations of prediction algorithms. The maximum prediction gain is also characteristic of signal source properties. In the course of a joint project with the Max-Planck Institute of Cognitive Neuroscience in Leipzig, we found that for the speech signal of a person in emotional arousal, the maximum prediction gain is lower than in a neutral emotional state.

DSP CODE OPTIMIZATION

Exploiting the full performance of modern digital signal processors requires efficient program code. To meet this challenge, we develop algorithms for automatic generation and/or optimization of programs for digital signal processors. This involves efficient strategies for solving various interdependent combinatorial optimization problems. We tackle these problem in close cooperation with specialists in computer science and discrete mathematics.

The automatic generation of optimized programs has important industrial applications, as for example in telecommunications and particularly in mobile communications. Algorithms of growing computational complexity have to be implemented with minimum hardware requirements like cycle time, power consumption, memory, and chip area. To meet these constraints, we closely cooperate with industrial partners in the development of programs that are highly optimized for specific architectures.

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



Optimierte Richtcharakteristik eines eindimensionalen, äquidistanten Arrays mit 8 Mikrofonen in Abhängigkeit von der Frequenz f und vom Richtungswinkel ϕ . Die Mikrofonensignale werden mit 8 digitalen Filtern in Echtzeit verarbeitet. Durch digitale Einstellung der Empfangsrichtung können unerwünschte Schallquellen unterdrückt werden.

NONLINEAR SIGNAL PROCESSING

Nonlinearity is an essential component in many signal processing systems: classical examples are quantizers or pattern classifiers. Neural networks constitute a versatile tool for modeling such static nonlinearities, e.g., in pattern classification for automatic speech or image recognition. The architecture of neural networks is based on distributed parallel processing and thus is most attractive for high-speed and

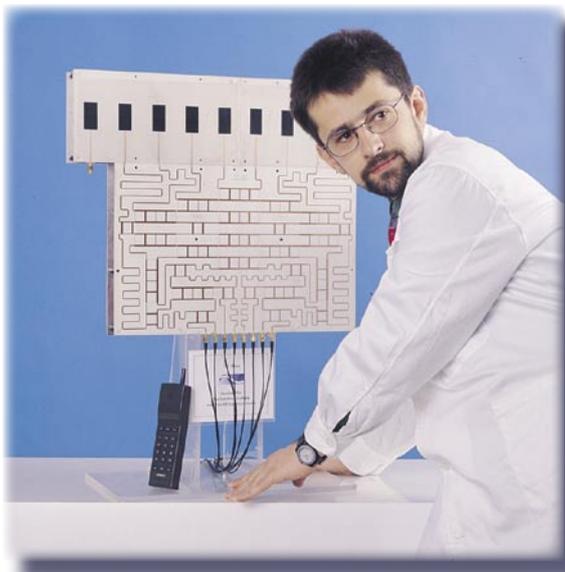
elating of the time evolution of mobile radio channels. At our institute, oscillator models for the synthesis of natural sounding speech signals are being investigated.

NONLINEAR STATISTICS

Nonlinear statistics comprises nonlinear statistical signal modeling, higher-order statistics, and information-theoretic approaches. The latter enable the calculation of a maximum prediction gain for

MOBILKOMMUNIKATION MOBILE COMMUNICATIONS

Mobilkommunikation kommt zwei Grundbedürfnissen des Menschen entgegen: miteinander zu reden und sich von Ort zu Ort



Unser Demonstrator für intelligente Antennen – Our smart antenna demonstrator.

zu verändern. Die Mobilkommunikation ist daher auch der am raschesten wachsende Zweig der Nachrichtentechnik. Sie profitiert von neuen technischen Entwicklungen auf einer Vielzahl von Gebieten: Funkwellenausbreitung, digitale Signalverarbeitung, Antennentechnik, HF-Schaltungstechnik, Netzplanung, Vermittlungstechnik, Übertragungstechnik, Codierung und Mikroelektronik.

Mit unserer Arbeit schaffen wir Bausteine zum „Persönlichen Kommunikationssystem“. Weltweit beträgt die Zahl der Mobilfunknutzer 1 Milliarde (Stand 2003); sie wird die Zahl der Festnetz-Telefone heuer Jahr überflügeln, ein Zustand, wie wir ihn in Österreich bereits seit zwei Jahren haben.

Wir bringen unsere Forschungsergebnisse in die europäische Kooperation COST 273 „Toward Broadband Mobile Multimedia Networks“ ein, in der wir die Arbeitsgruppe „Antennas and Propagation“ führen. COST 273

ist das Nachfolgeprogramm von COST 259 „Wireless Flexible Personalized Communications“, in dem wir dieselbe Arbeitsgruppe leiteten.

Unser Institut bietet seit 1985 regelmäßig Seminare über Mobilfunk an, die neben Lehrern und Studenten des Instituts in- und ausländische Experten aus Industrie und Telekom-Betreibern als Vortragende aufweisen. Seit 1990 wird eine Vorlesung über Grundlagen der Mobilkommunikation abgehalten; außerdem konnten wir in den letzten Jahren prominente Gastprofessoren aus Dänemark, Deutschland, Neuseeland und Schweden gewinnen. Doktoranden und Diplomanden aus Bosnien, Deutschland, Finnland, Italien, Polen, Portugal, Schweden und Spanien haben viel zu unserer Arbeit beigetragen.

MOBILFUNKKANAL

Die Vermessung und Modellierung des Mobilfunkkanals ist eine grundlegende Voraussetzung für den Entwurf, die Simulation und das Testen von Mobilfunksystemen. Dabei gilt unser besonderes Augenmerk jenen Kanaleigenschaften, die für zukünftige Mobilfunksysteme von großer Bedeutung sind: Winkelauflösung und Stationarität. Die Abweichung von der Stationarität des Kanals spielt vor allem bei schnell bewegten Empfängern in dicht verbauten Gebieten eine Rolle.

Für die Simulation von intelligenten Antennen (siehe unten) sind richtungsaufgelöste Kanalmodelle notwendig, d.h. die Feststellung, aus welcher Richtung die Signale an der Empfangsantenne ankommen. Auf der Grundlage von ausführlichen Messkampagnen in Zusammenarbeit mit den Technischen Univer-

sitäten in Helsinki und Ilmenau haben wir eine Methode entwickelt, die quasi Kameraaufnahmen der einfallenden Wellen im Gigahertzbereich macht. Diese Methode, die Gruppenantennen mit digitalen Signalverarbeitungs- und Schätzalgorithmen vereinigt, macht deutlich, dass die Wellen – im Gegensatz zur landläufigen Vorstellung von „verschmierten“ Winkelbereichen – in „Clustern“ auftreten und von Gebäuden ausgehen, die in der Natur oder auf Stadtplänen klar erkennbar sind (siehe Bild auf S. 18).

Einen Schritt weiter geht unsere Erfindung der doppelt richtungsaufgelösten Kanalmessung. Misst man die Kanalimpulsantworten zwischen allen Einzelantennen einer Funkstrecke mit Antennengruppen an beiden Enden (sogenannte MIMO-Systeme, siehe unten), so gelingt auch die Feststellung der Senderichtung und eine eindeutige Verfolgung der einzelnen Teilwellen vom Sender zum Empfänger. Das Bild auf S. 19 zeigt einen Hof an der TU Ilmenau, wo jeder Strahl, der vom Sender TX ausgeht, in einem entsprechenden Strahl am Empfänger (RX) mündet. Beispielhaft sind einige dieser Wellenzüge eingezeichnet. Derzeit arbeiten wir an der Erweiterung dieses Prinzips für Wellenausbreitung in Gebäuden, wo wesentlich mehr Streuer mit weniger deutlich verschiedenen Laufzeiten auftreten.

Für die Planung und den Aufbau von Funknetzen bevorzugen wir Kanalmodelle, die die jeweilige Umgebung durch eine *doppelt-richtungsaufgelöste Messung* berücksichtigen, und zwar ohne Unterstützung durch aufwändige Strahlverfolgungsprogramme oder umfangreiche Datenbanken ungewisser Aktualität. Nur durch einen *ortsspezifischen Aufbau* kann das Potential von Funksystemen für hohe Datenraten voll ausgeschöpft werden.

INTELLIGENTE ANTENNEN

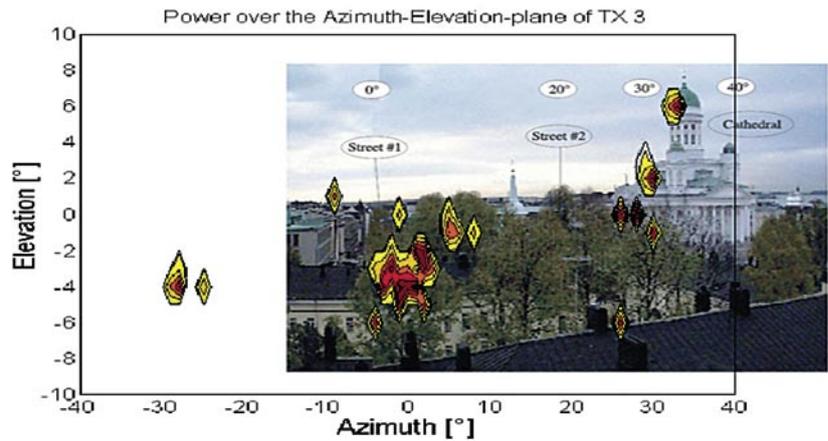
Um Antennen „intelligent“ werden zu lassen, müssen Spezialisten verschiedener Gebiete (Digitale Signalverarbeitung, Wellenausbreitung, Antennentechnik, Software, HF-Schaltungen) eng zusammenarbeiten. Selbstverständlich sind sie es, die intelligent sind, weder die Antenne selbst noch die Computer, die sie ansteuern. Mobilfunksysteme der dritten Generation wie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) werden adaptive Antennengruppen mit digitaler Signalverarbeitung („intelligente Antennen“) verwenden. Intelligente Antennen erhöhen die Kapazität eines Mobilfunksystems, indem sie die mittlere Gleichkanalstörung zufolge Nachbarzellen verringern oder sogar mehrere räumlich getrennte Teilnehmer auf demselben Verkehrskanal bedienen (Space Division Multiple Access). Dies ist durch die Anpassung des Antennenrichtdiagramms an die jeweilige Teilnehmerverteilung und Kanalsituation möglich, wobei die Hauptkeule in die Richtung der gewünschten Signale weist und Störsignale möglichst unterdrückt werden. Wir untersuchen sowohl „blinde“ Algorithmen als auch solche mit Trainingsfolgen für Signalidentifikation und Richtungsschätzung.

Neben Simulationen bauten wir auch einen Demonstrator für intelligente Antennen auf, mit dessen Hilfe praktische Untersuchungen der Algorithmen möglich werden. Der Demonstrator wählt eines von acht vorbestimmten Richtdiagrammen aus, das den besten Empfang in der gegebenen Situation ermöglicht. Obwohl einfacher als die vorher genannten Algorithmen und Strahlformungsmethoden, hat dieser Weg eine attraktive Zukunft, weil nur ein einziger Sende- und Empfangszug, nicht mehrere, verwendet werden muss.

Unsere Forschungskoooperationen mit bedeutenden internationalen Firmen münden mitunter

in Patente und haben uns einige „Best Paper“ Preise bei internationalen Konferenzen eingebracht.

MIMO-Kapazität hohen lokalen Schwankungen unterliegt, wenn man die Funkstreckendämpfung



Im städtischen Gebiet gelangen die Funkwellen in engen Winkelbereichen zur (nicht sichtbaren) Basisstation, oftmals über Reflexion an markanten Gebäuden – In urban environments, waves travel in clusters from the transmitter to the receiver, guided by street canyons or reflections from large buildings.

Wir haben einen Kurzkurs über „Smart Antennas and Spatial Channel Models“ zusammengestellt, den wir mit unseren Absolventen, die schon in der Industrie arbeiten, auf mehreren Konferenzen vortragen. Dieser Kurzkurs findet nicht zuletzt deshalb immer wieder Zuspruch, weil wir darin die neuesten Forschungsergebnisse einarbeiten, so zum Beispiel über MIMO-Systeme (siehe weiter unten). Für Interessierte ist das Einleitungskapitel auf unserer Homepage frei zugänglich.

http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/research/smart_antennas_tutorial/

MIMO

MIMO (multiple input multiple output) Systeme zeichnen sich durch Antennengruppen an beiden Enden der Funkstrecke aus. Kürzlich wurde nachgewiesen, dass ihre informationstheoretische Kapazität ein Vielfaches der Shannon-Kapazität betragen kann. Kein Wunder, dass MIMO für alle möglichen Funksysteme in Betracht gezogen wird, bei denen hohe Übertragungsgeschwindigkeit gewünscht ist – und wo ist das nicht! Wir haben aber experimentell nachgewiesen, dass diese

berücksichtigt (siehe Bild auf S. 20). Auch die Blickrichtung der Empfangsantenne ist von Bedeutung. Die Frage, wie man trotz dieser Schwankungen der MIMO-Kapazität in einer vorgegebenen Umgebung nahekann, ist nicht einfach zu beantworten. „Kapazität“ ist auch schwierig allgemein zu messen. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten: entweder man misst mit fest vorgegebenen Antennengruppen die Kanalübertragungsmatrix H und rechnet daraus die Kapazität für eben diese Antennenkonfiguration. Oder man stellt die tatsächlichen Ausbreitungswege fest und leitet daraus die Kapazität, unabhängig von der Antennenkonfiguration, ab. Wir spezialisieren uns auf die zweite Methode, vor allem weil sie das Verständnis für die zugrundeliegenden Wellenausbreitungsphänomene fördert.

MOBILFUNKNETZE

Eine von uns entwickelte stochastische Methode zur Modellierung der Teilnehmerbewegung erlaubt eine umfangreiche Untersuchung von komplexen Mobilfunknetzen, wie z.B. des zukünftigen UMTS. Dieses soll den übertragenden Erfolg des europäischen Mobilfunksystems der 2. Genera-

tion – GSM – fortsetzen, welches weltweit das mit Abstand erfolgreichste System ist. UMTS ermöglicht die gleichzeitige Übertragung von Sprache, Daten, Text, Bildern, Audio- und Videosignalen zwischen zwei oder mehr Teilnehmern gleichzeitig. Die maximale Datenrate beträgt dabei 2 Mbit/s. Der Erfolg von UMTS wird aber entscheidend von den Diensten und deren Akzeptanz abhängen. Einer dieser Dienste wird allgegenwärtiger Internet-Zugang sein. Ein Stolperstein dabei ist die Tatsache, dass die TCP/IP-Protokolle für das Festnetz ausgelegt wurden und deshalb empfindlich gegenüber Schwundlöchern auf dem Funkweg sind. In einem Buch widmen wir uns ausführlich diesem Problemkreis und möglichen Lösungswegen. In einem anderen Buch, an dem wir beteiligt sind, werden Techniken behandelt, die

genannten Funknetze z.B. mit Bluetooth untersuchen wir die gegenseitigen Störungen. Von den Befürwortern der WLANs als „lizenzfrei“ hochgejubelt, wird nämlich gerne übersehen, dass diese nur „interferenzfrei“ funktionieren.

Für unseren langjährigen Kooperationspartner, die Mobilkom Austria, untersuchen wir auch, wie man leitungs- und paketvermittelte Dienste in bestehenden und zukünftigen Funknetzen optimieren kann.

Das rasche Wachstum von digitalen zellularen Mobilfunksystemen ist mit einem enormen Investitionsaufwand verbunden. Die Frage, wie man ein kostenoptimales Mobilfunknetz aufbauen und weiter ausbauen kann, ist ebenfalls höchst aktuell. Wir sind daher bemüht, die wesentlichen kosten- und qualitätsbestimmenden Komponenten und Funktionen zukünftiger Mobil-

funksysteme festzustellen und in Zusammenarbeit mit einer von unseren Absolventen gegründeten Firma zu untersuchen.

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



Mobile communications fulfill two basic desires of man: to talk and to move around. No wonder that mobile communications is the fastest growing segment of the telecom

market. Mobile communications capitalize on technological advances in a great number of areas, e.g. radiowave propagation, radio network planning, digital transmission, signal processing, packet switching, internet protocols, RF circuits, coding, and microelectronics.

With our work, we contribute to the Personal Communications

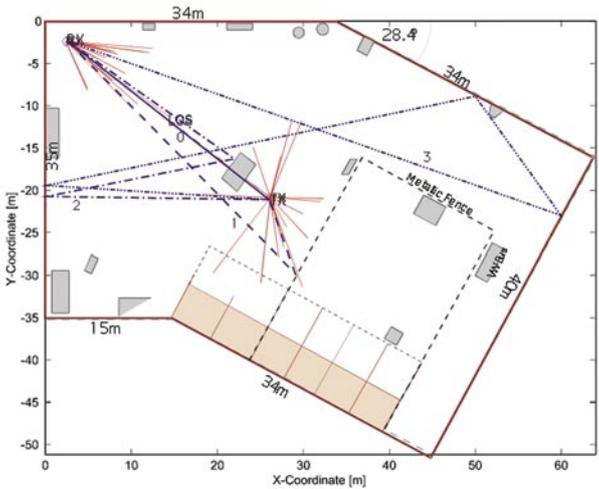
System of the future, which is characterized by terminal numbers belonging to persons, not to places. The number of cellular radio customers is presently (2003) exceeding 1 Billion worldwide, and will surpass the number of wireline customers within the next year. In Austria, this cross-over has happened already two years ago.

Our research results are input to the European research cooperation COST 273 “Toward Broadband Mobile Multimedia Networks”, where we are leading the Working Group on “Antennas and Propagation”. COST 273 is the successor to COST 259 “Wireless Flexible Personalized Communications”, in which we also led the same working group.

Since 1985, our institute has been offering seminars on mobile communications that featured international experts from industry and network operators as well as researchers and students of the Institute. Since 1990, an introductory lecture on mobile radio has been read; furthermore, renowned researchers from Denmark, Germany, New Zealand, and Sweden have been guest professors. Graduate and postgraduate students from Bosnia, Finland, Germany, Italy, Poland, Portugal, Spain, and Sweden have contributed significantly to our research.

MOBILE RADIO CHANNEL

Propagation is at the heart of wireless communications. It sets the ultimate limits for the transmission speed and throughput of any system built upon radio. Measuring and modeling the mobile radio channel is therefore a basic requirement for the design, simulation, and testing of mobile radio systems. We are focussing on those aspects that will be the most important for future mobile radio systems: directions-of-arrival and nonstationarity. Lack of stationarity of the channel is especially observed for quickly moving receivers in densely built-up environments.



Durch doppelt-richtungsaufgelöste Messung lassen sich einzelne Wellenzüge erstmals exakt zwischen Sender (TX) und Empfänger (RX) verfolgen – Double-directional measurements reveal the wave propagation between transmitter (TX) and receiver (RX) - a world first.

für die Weiterentwicklung von UMTS von Bedeutung sind.

Auch im Festnetz muss Intelligenz eingeführt werden, um die Mobilität von Teilnehmern in so unterschiedlichen Netzen wie GSM, UMTS oder den neuen Funkdatennetzen („wireless local area network“, WLAN) zu ermöglichen. Zur Unterstützung der friedlichen Ko-Existenz der letzt-

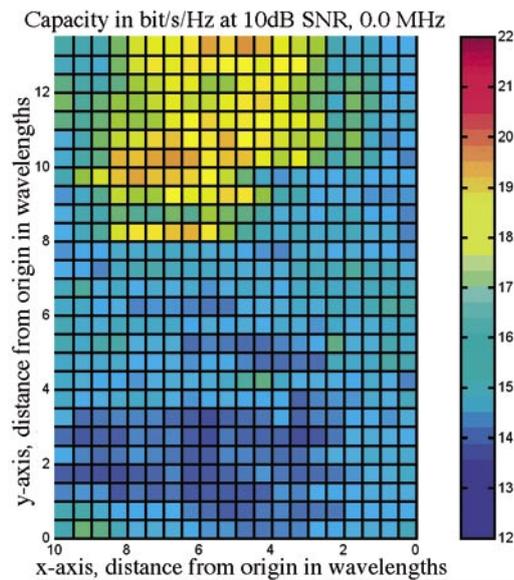
For the simulation of smart antennas (see below), we require angle-resolved channel models, i.e., we have to determine the direction from which a signal is impinging on the receiver antenna. Based on measurements which were performed in cooperation with Helsinki University of Technology, Finland, we developed a method combining antenna arrays and signal processing to make snapshots of the incoming waves, in a similar way as with a camera. The figure on p. 18 shows such a “radio picture” at 2 GHz, and how the incoming waves correspond to scattering from identifiable buildings.

We have also pioneered a technique going one step further: determination of the directions of departure from a transmit antenna in addition to determination of the directions of arrival at a receive antenna, by measuring the channel impulse response with antenna arrays at both link ends. This technique, which we termed “double directional”, is gaining quite some momentum internationally. For the first time, it allows to trace wave propagation from the transmitter through the environment up to the receive antenna. The figure on p. 19 shows a courtyard at a cooperation partner, Technische Universität Ilmenau, Germany. Every ray that emanates from the transmitter TX eventually terminates in a corresponding ray at the receiver RX; a few of these rays are drawn. Presently, we work on extending the double-directional concept to indoor channels, where the number of scatterers is higher than outdoors but the time difference between waves is even smaller.

For network planning and roll-out, we promote sophisticated channel models that account for the environment by *double-directional measurement*, without the need for cumbersome ray-tracing or huge data bases. We believe that the potential of broadband wireless systems can be fully exploited only through site-specific deployment.

SMART ANTENNAS

In the area of “smart” antennas, specialists in digital signal processing are cooperating with experts in radio wave propagation, antennas, RF hardware, digital signal processing, and computer programming. Of course, it is the engineers and scientists that are smart, neither the antennas



Lokale Schwankung der MIMO-Kapazität aufgrund unterschiedlicher Wellenausbreitung (die gezeigte Fläche ist 60 x 80 cm² groß) – Local variation of MIMO capacity as a consequence of wave propagation phenomena (area shown is 60x80 cm²).

themselves nor the computers that control them. Third-generation mobile radio systems like UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) will use such adaptive antenna arrays with digital signal processing. These antennas will increase the capacity of mobile radio systems by reducing the average co-channel interference, improving signal reception quality, and even allowing to serve several users on the same traffic channel (Space Division Multiple Access). This is done by adjusting the antenna pattern to the instantaneous channel configuration and user locations in such a way that the main beam points into the direction of the desired signal and interfering signals are suppressed (this is called *beamforming*). We are also

analyzing “blind” algorithms that do not require a training sequence for signal detection and direction estimation.

For practical investigations, we have built a demonstrator of a smart antenna system which selects one out of eight preformed spatial beams. Though simple, such systems are attractive as they require only a single transmit/receive train.

Our research cooperation with major international industrial players has resulted in several patents on smart antennas, and has earned us a number of Best Paper awards at international conferences.

We have put together a one-day tutorial on “Smart Antennas and Spatial Channel Models” that we have been presenting, together with our graduates in industry, at international conferences. To keep it interesting, we have continuously added the latest research results in the area, lately also on MIMO (multiple-input multiple-output) – see below. The introductory chapter can be downloaded from our homepage at

http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/research/smart_antennas_tutorial/index.en.html

MIMO

MIMO (multiple-input multiple-output) systems, which have multiple antennas at each end of the link, offer huge transmission capacity. Ideally, independent, orthogonal data transmission channels are set up between the individual antenna elements to maximize this capacity. MIMO can be used to advantage in fixed wireless access (FWA) systems, in wireless local area networks (WLANs), and on top of emerging mobile communications standards such as UMTS. However, we have shown recently that MIMO capacity has a large local variation when the pathloss is taken into

consideration. Then, it depends on the environment and on the position (see figure on p. 22) and, as we have shown, on the look direction of the antenna arrays. Therefore we investigate ways to deploy MIMO systems that attain capacity as closely as possible in a practical way.

“Capacity” is difficult to assess. Two approaches are possible: first, to identify the channel matrix H for the particular transmit and receive arrays with which the measurements are made, and use that to calculate channel capacity; or, second, to identify from the measurements the actual multipath components, synthesize H from these and then calculate capacity. In our work we focus on link-specific capacity measurements by which we characterize the environment independently of the antenna configuration. In this way, we hope to identify the underlying wave propagation mechanisms that lead to the local and directional variations of capacity.

MOBILE NETWORKS AND SERVICES

We developed a stochastic method to model the movement of users in sophisticated urban mobile communications networks, for instance in UMTS networks. UMTS provides a new, fast air interface allowing multimedia communications at a maximum data rate of 2 Mbit/s. UMTS will continue the worldwide success of the European 2nd generation system, GSM, if operators succeed to convince customers with new and innovative services. One of them will be ubiquitous mobile internet access. Because the TCP/IP protocol stack was developed without wireless in mind, some unexpected problems caused by fading arose. We wrote a book on these problems and some possible remedies. We co-edited another book dealing with technology advances beyond UMTS.

Intelligent services in backbone networks will support the mobility of users of UMTS, GSM and WLAN terminals. As the touted “license-free” frequency bands are

extremely vulnerable to interference – terminals can operate only “interference-free”! –, we are investigating the mutual interference of WLAN and Bluetooth transmission.

For innovative operators like Mobilkom Austria, we investigate joint optimization of circuit-switched and packet-switched teletraffic and optimum radio resource management. The worldwide growth in digital and cellular mobile communications involve high capital expenditures and raise the question of how one can optimize costs. Therefore, as a partner of a spin-off company from the institute, we are investigating network optimization in general, including all cost factors of future mobile communications systems.

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

RAPID PROTOTYPING

Neue Methoden zum Rapid Prototyping in der Mobilkommunikation werden es ermöglichen, innovative Ideen und Konzepte schnell in ein Echtzeitexperiment umzusetzen. Gerade im Mobilfunkbereich sind solche Experimente unumgänglich, um auszuschließen, dass etwaige bisher unberücksichtigte technische Hürden den Entwurf in Frage stellen. Diese können sowohl in der ungenauen Kanalmodellierung liegen, als auch in numerischen Problemen oder architekturellen Umsetzungsschwierigkeiten.

ANWENDUNGEN VON RAPID PROTOTYPING

Während in der Vergangenheit Rapid Prototyping vor allem eingesetzt wurde, um dem Kunden ein Produkt frühzeitig vorführen zu können, ist dies bei der hohen Komplexität der Signalverarbeitungsalgorithmen in der Mobilkommunikation nicht mehr möglich. Rapid Prototyping konzentriert sich daher auf jene Bereiche einer Neuentwicklung, bei der die größten Schwierigkeiten zu erwarten sind, um möglichst frühzeitig Probleme bei der Produkterstellung aufzufinden.

So ist es von Interesse, die Kanalschätzung bei besonders schnell veränderlichen Kanälen auszuführen, eine adaptive nicht-lineare Vorverzerrung des Verstärkers zu erreichen, MIMO (Mehrfach-Antennensysteme)-Empfänger zu entwickeln und Entzerrerstrukturen zum verbesserten Empfang zu untersuchen. In Zukunft werden Funkssysteme der 4. Generation neue Anwendungen bieten und mit verbesserten Techniken wie beispielsweise Raum-Zeit-Codierung eine höhere spektrale Effizienz erzielen. Ziel der Forschung wird es sein, das Zusammenspiel der Anwendungsebene bis hinunter zur physikalischen Übertragungsschicht optimal zu gestalten.

http://www.nt.tuwien.ac.at/rapid_prototyping/



sis of adaptive equalizer structures for improved reception. Future wireless systems of the fourth generation will offer new applications due to improved techniques like Space-Time Codes

New methods for Rapid Prototyping in mobile communications will allow for a fast conversion of innovative ideas and concepts into real-time experiments. In particular, in the field of mobile communications such experiments are crucial to ensure that unexpected technological hurdles cannot question the original design. Such hurdles can have their origins in inaccurate channel models as well as in numerical problems or architectural mapping difficulties.

APPLICATIONS OF RAPID PROTOTYPING

While it was customary in the past to utilize rapid prototyping in order to demonstrate a future product to the customer at an early time, it is today's application to identify problem areas for new to develop products.

Current interests include channel estimation for very rapidly changing channels, adaptive pre-distortion of power amplifiers, development of multi-antenna receiver structures and the analy-

that can achieve higher spectral efficiency. The goal of our research is to optimally design the cooperation of all layers from the application layer down to the physical layer.

http://www.nt.tuwien.ac.at/rapid_prototyping/

CHRISTIAN-DOPPLER-PILOTLABOR FÜR ENTWURFSMETHODIK FÜR SIGNALVERARBEITUNGSGRUNDALGORITHMEN

CHRISTIAN DOPPLER PILOT-LABORATORY FOR DESIGN METHODOLOGY FOR SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS

Seit 1. Juli 2002 besteht das Christian-Doppler-Pilotlabor für Entwurfsmethodik für Signalverarbeitungsgrundalgorithmen in Zusammenarbeit mit der Christian-Doppler-Gesellschaft und der

Produkt in möglichst kurzer Zeit anzubieten. Erst durch eine wesentlich effizientere Vorgehensweise in der Produktentwicklung kann man gewährleisten, dass diese Herausforderung an verfüg-

Since July 1 2002, the Christian Doppler Pilot-Laboratory for Design Methodology for Signal Processing Algorithms has been active in cooperation with the Christian Doppler Society and Infineon Technologies. Its major research interest is the design methodology for systems with highly complex signal processing preferably in the mobile communications area. Herein, all problems of system design are considered an entity ranging from research activity to the realization of the final product, including all kinds of different descriptions necessary for the product design.



Firma Infineon Technologies. Das Labor befasst sich mit der Entwurfsmethodik für Systeme mit komplexer Signalverarbeitung vornehmlich im Mobilfunkbereich. Hierbei wird die Problematik des Systementwurfs als eine Einheit betrachtet, die sich von der Forschung bis zur Implementierung spannt und alle unterschiedlichen Beschreibungsformen einschließt, die während des Systementwurfs auftreten.

ANWENDUNGSBEREICH MOBILFUNKTECHNIK

Für Mobilfunksysteme der sogenannten dritten Generation Wireless (UMTS) zeichnet sich das Problem der effizienten Produktentwicklung besonders ab. Durch immer leistungsfähigere Hardware-Strukturen wie Embedded Systems allein wird es nicht möglich sein, UMTS mit allen seinen signalverarbeitungsintensiven Diensten und Funktionen als

bare Hardwareelemente bewältigt werden kann. Ziel des Christian-Doppler-Labor für Entwurfsmethodik für Signalverarbeitungsgrundalgorithmen ist es, diese Entwurfsmethodik zu optimieren, so dass mit Hilfe von automatischen Werkzeugen ein konsistenter Entwurfsfluss entsteht, der wiederum eine deutliche Produktivitätssteigerung erzielt. Durch die partnerschaftliche Vorgehensweise mit der Firma Infineon wird garantiert, dass die Methoden und ihre Randbedingungen auf heutige Systementwürfe anwendbar sind, während schon ein Weg zu den Entwurfsmethoden von morgen geschaffen wird.

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

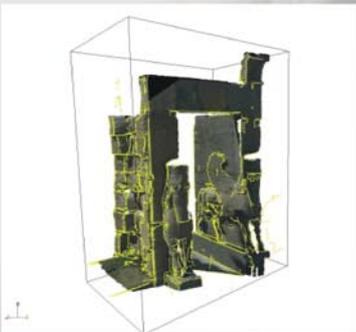
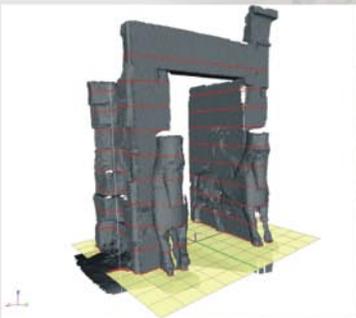
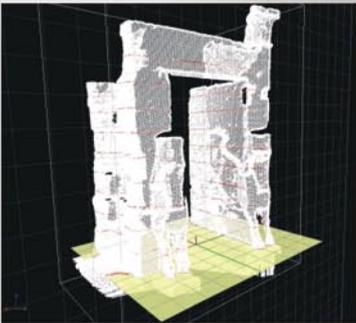
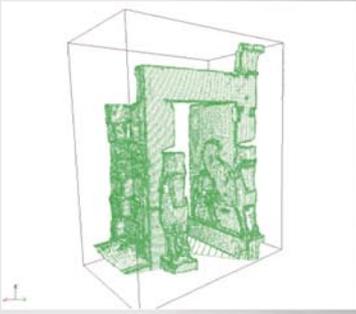


APPLICATION MOBILE COMMUNICATIONS

In mobile communications for the third generation wireless (UMTS) the problem of efficient product design becomes more and more visible. By utilizing increasingly efficient hardware structures like embedded systems alone, it will not be possible to offer UMTS products with all their signal processing intensive services and functions in a very short development time. Only by applying a more efficient design flow, such challenges for available hardware elements can be dealt with. The Christian Doppler Pilot-Laboratory for Design Methodology for Signal Processing Algorithms will optimize the design flow so that a consistent flow is obtained by utilizing automatic tools, resulting in a much higher efficiency. The cooperation with the partner Infineon Technologies guarantees that the design methods and their constraints can be applied to today's designs while already preparing the path for tomorrow's design methods.

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

Looking for a Laser Measurement System?



*RIEGL's main products are
3D Laser Imaging Scanners,
2D Airborne Laser Scanners,
and Laser Distance Meters*

*25 years of experience in the
research and development of
optical radar systems*

*More than 50 graduated engineers,
technicians, and other highly qualified
and motivated staff members*

Worldwide sales and support

*RIEGL is permanently dedicated
to the highest performance,
quality, and reliability of its
products and services*



RIEGL
LASER MEASUREMENT SYSTEMS
www.riegl.com

RIEGL LMS GmbH, A-3580 Horn, Austria, office@riegl.co.at
RIEGL USA Inc., Orlando, Florida, info@rieglusa.com
RIEGL UK Ltd., Nottingham, United Kingdom, info@riegl.co.uk
RIEGL Japan Ltd., Tokyo, Japan, office@riegl-japan.co.jp
RIEGL Scandinavia AB, Julita, Sweden, swarovski-optik@riegl.se