



CA

IMPRESSUM

Erscheinungsjahr 1998

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:

Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 25/389, A-1040 Wien
URL: <http://www.nt.tuwien.ac.at>

Für den Inhalt verantwortlich: o.Prof. Dr. Wolfgang Mecklenbräuer
Gestaltung und Satz: Bernhard Wistawel, Gernot Kubin
Fotos: Irene Schanda (das studio)
Institutslogo: Miriam Weigl
Druck: Chytra Druck
1030 Wien, Paracelsusgasse 8

VORWORT

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

In der Lehre bilden wir Elektrotechnik-Studenten der Studiengänge "Nachrichtentechnik und Informationstechnik", "Automatisierungs- und Regelungstechnik" und "Computertechnik" ab dem 5. Semester aus. Neben einem umfangreichen Pflichtlehrprogramm bieten wir, unterstützt durch außeruniversitäre Lehrbeauftragte, Wahllehrveranstaltungen in praktisch allen Bereichen der Nachrichtentechnik an. Im Jahre 1996 wurde das Institut für Kommunikationsnetze gegründet und das zugehörige Ordinariat besetzt, so daß auch dieses bedeutende Fachgebiet jetzt in Forschung und Lehre vertreten wird. Im Jahre 1998 wurde Herr Prof. G. Magerl auf das Ordinariat für Meß- und Schaltungstechnik berufen. Das bisher vom ihm vertretene Fach Mikrowellentechnik wird deshalb in Zukunft schwerpunktmäßig in diesem Institut angesiedelt sein. Unsere Diplomanden profitieren sowohl von laufenden Forschungsprojekten als auch von aktuellen industriellen Fragestellungen und der praktisierten Teamarbeit. Wir bieten auch Englischkurse und englischsprachige Lehrveranstaltungen für Elektrotechniker an und fördern so die Sprachkenntnisse der Technik-Studenten.

Die Schwerpunkte der 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 Leser kann sich dabei davon überzeugen,

- ☛ daß unsere Arbeiten von grundlegenden Untersuchungen bis zu konkreten Schaltungs- und Systementwicklungen reichen,
- ☛ daß wir Werkzeuge und Methoden der Informatik sowie CAD in unsere Forschungsarbeiten voll integriert haben,
- ☛ daß wir uns um einen hohen Grad an Wechselwirkung zwischen scheinbar weit auseinanderliegenden Forschungsgebieten bemühen.

Die heute so vehement geforderte Öffnung der Universitäten für volkswirtschaftliche Anliegen haben wir bereits seit mehreren Jahren vollzogen: So werden beispielsweise deutlich mehr als die Hälfte unserer wissenschaftlichen Mitarbeiter aus Drittmitteln finanziert. Unseren nationalen und internationalen industriellen Kooperationspartnern, unseren öffentlichen Auftraggebern, dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), dem Fonds zur Förderung der gewerblichen Forschung (FFF), der Österreichischen Nationalbank, der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) und der Europäischen Kommission danken wir für die nutzbringende Zusammenarbeit. Wir danken auch der CA für die Unterstützung bei der Herstellung dieser Broschüre.

Wien, im Juli 1998

W. Leeb

(Univ.Prof.Dr.W. Leeb)
Stellvertreter des Institutsvorstandes

Mecklenbräucker

(O.Prof.Dr.W.Mecklenbräucker)
Institutsvorstand





PREFACE

This brochure illustrates the 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 the teaching and research activities.

Starting with their fifth semester, electrical engineering students in "Communications and Information Engineering", "Automation and Control Engineering" and in "Computer Engineering" attend mandatory and elective courses at our Institute. We offer courses covering the full range of subjects in modern communications and radio-frequency engineering, in some instances assisted by outside lecturers. In 1996 a new chair and department was established in the field of communication networks, adding coverage of these areas to our research and teaching programs. In 1998, Prof. G. Magerl was appointed to the chair of electrical measurement and circuit design. The field of microwave engineering which has been represented by him will be hosted by this chair in the future.

Students who work on their diploma projects at our Institute profit from current, industry-related topics, and from the teamwork pursued. We acknowledge the importance of language abilities in a good engineering education and teach several technology-related courses in English.

Research and development emphasis is placed on a number of specific fields in telecommunications, signal processing, radio-frequency engineering, mobile communications, and optical communications. The following sections of this report 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 kind reader is invited to notice:

- that our work ranges from fundamental research up to the development of hardware circuits;
- that we have incorporated computer science and CAD tools in our communications-oriented research;
- and that we strive for coherence between seemingly diverse subjects.

Anticipating today's urgent 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 would like to express our thanks to our sponsors and partners in Austrian and international industry and to the Austrian public, to the Austrian Science Fund (FWF) and to the Forschungsförderungsfonds (FFF), Vienna, to the European Space Agency (ESA) and to the European Commission for mutually fruitful cooperation. We also thank the CA bank for support provided in the production of this report.

Vienna, July 1998

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

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

INHALT CONTENTS

VORWORT PREFACE

1

OPTISCHE NACHRICHTEN- TECHNIK UND LIDAR OPTICAL COMMUNICATIONS AND LIDAR

Laserimpulse übertragen enorme Datenmengen - nicht nur über Glasfasern, sondern auch im Weltraum. Laser-Radar ermöglicht eine globale Messung der Windgeschwindigkeit.

Laser pulses transmit a large amount of data - not only through glass fibers but also in outer space. They will also allow global wind monitoring.

5

CODIERUNG UND DATENÜBERTRAGUNG CODING AND DATA TRANSMISSION

Vorstoß zu den theoretischen Grenzen der Informationsübertragung durch kanalangepaßte Codierung und optimierte Empfängerstrukturen.

Approaching the theoretical boundaries of information transmission by means of channel matched coding and optimized receiver structures.

6

SPRACH- UND AUDIOKOMMUNIKATION SPEECH AND AUDIO COMMUNICATION

Sprach- und Audiosignalverarbeitung stellen Schlüsseltechnologien für Multimediasysteme und Kommunikationsnetze dar.

Speech and audio signal processing are key technologies for multimedia systems and communications networks.

8

NICHTLINEARE SIGNAL- VERARBEITUNG NONLINEAR SIGNAL PROCESSING

Kein Schwingungsvorgang ohne Nichtlinearität: Chaostheorie, neurale Netze und nichtlineare Statistik helfen, die Herausforderung anzunehmen.

No oscillation process without nonlinearity: chaos theory, neural networks, and nonlinear statistics assist to take up the challenge.

9

AUTOMATISCHE DSP-CODE- GENERIERUNG AUTOMATIC DSP CODE GENERATION

Viele DSP-Applikationen unterliegen strengen Randbedingungen hinsichtlich Laufzeit und Speicherplatzbedarf. Wir entwickeln effiziente Algorithmen zur Erzeugung von optimierten DSP-Programmen.

Many DSP applications have to satisfy stringent run-time and storage-size constraints. We develop efficient algorithms for the generation of optimized DSP programs.

10

ADAPTIVE SIGNALVERARBEI- TUNG UND OPTIMALER FILTERENTWURF ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING AND OPTIMAL FILTER DESIGN

Schnelle und vielseitige Algorithmen zur adaptiven Signalverarbeitung und zum optimalen Filterentwurf werden in vielen innovativen Gebieten der digitalen Signalverarbeitung dringend benötigt.

Fast and versatile algorithms for adaptive filtering and optimal filter design are urgently needed in many areas of advanced digital signal processing.

11

ZEIT-FREQUENZ- SIGNALVERARBEITUNG TIME-FREQUENCY SIGNAL PROCESSING

Für die Verarbeitung hochgradig instationärer Signale sind Zeit-Frequenz-Methoden leistungsfähige Werkzeuge.

Time-frequency methods are powerful tools for processing highly nonstationary signals.

13

MOBILKOMMUNIKATION MOBILE COMMUNICATIONS

Gemeinsam mit PTA und Industrie: von Endgeräten über intelligente Antennen zur Netzgestaltung.

A cooperative effort with PTA and industry: terminals, propagation, smart antennas, networks.

14

MIKROWELLENTÉCHNIK MICROWAVE ENGINEERING

Mikrowellen transportieren die Nachrichten in (mobilen) Kommunikationssystemen. Wir simulieren, entwerfen und bauen Endgeräte.

Microwaves carry signals in (mobile) communication systems. We simulate, design, and build microwave transmitters.

17

Werbung Riegl

OPTISCHE NACHRICHTENTECHNIK UND LIDAR OPTICAL COMMUNICATIONS AND LIDAR

Information läßt sich nicht nur mit elektrischen Signalen sondern auch mit Laserlicht übertragen. Seitdem Halbleiterlaser und dämpfungsarme Glasfasern verfügbar sind, hat dieses Verfahren die terrestrische Nachrichtenübertragung revolutioniert. Aber auch dort, wo keine Glasfasern verlegt werden können - also etwa zwischen Erdsatelliten - wird die optische Kommunikation in Kürze zeigen, wozu sie fähig ist: Der Start eines ersten europäischen Versuchssystems (SILEX) steht unmittelbar bevor, die Laserverbindung von Satellitennetzen (wie z.B. IRIDIUM oder TELEDESIC) ist für die zweite Generation geplant.

Wir forschen auf dem Gebiet der Glasfaserübertragung, an Systemen für die Laserkommunikation im Weltraum und im verwandten Bereich des optischen Radar („Lidar“).

Optische Wellenlängen-Multiplex-Übertragung

Im Rahmen der von der Europäischen Kommission geförderten Projekte PHOTON und MOON tragen wir zur Entwicklung von länderübergreifenden Netzen bei. Innerhalb PHOTON sind wir maßgeblich an der Auslegung der 500 km langen Übertragungsstrecke zwischen Wien und München beteiligt. Sie ist optisch transparent, erfordert also keine Zwischenumsetzung in den elektrischen Bereich. Die Dämpfung und die Dispersion der Monomode-Fasern wird durch Erbium-dotierte Faserverstärker bzw. durch dispersionskompensierende Faserspulen wettgemacht. Acht Kanäle im 3,2 bzw. 1,6 nm Raster (400GHz bzw. 200GHz) mit Datenraten bis zu je 10 Gbit/s werden gleichzeitig in beide Richtungen übertragen. Das Projekt MOON konzentriert sich auf das Management optischer Netze. Dafür entwickeln wir rein optische Methoden zur Messung der Parameter des Wellenlängen-Multiplexsignals.

LASERKOMMUNIKATION

Datenraten von mehreren 10 Milliarden bit/s über eine einzige Faser sind möglich; die optische Übertragung zwischen Satelliten steht unmittelbar bevor.

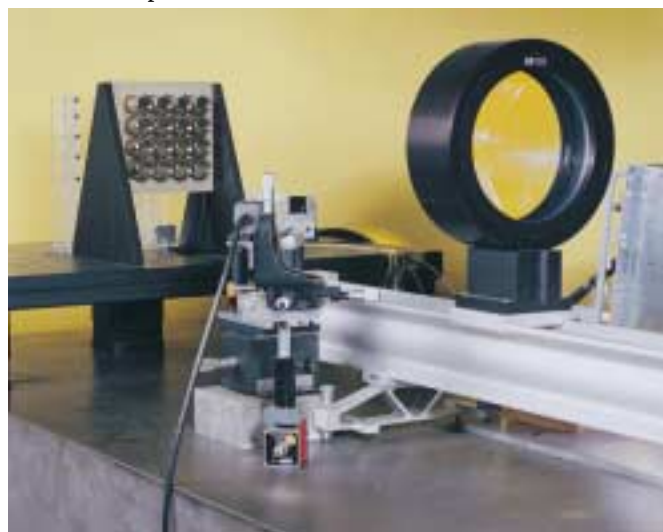
Innerhalb PHOTON sind wir maßgeblich an der Auslegung der 500 km langen Übertragungsstrecke zwischen Wien und München beteiligt. Sie ist optisch transparent, erfordert also keine Zwischenumsetzung in den elektrischen Bereich. Die Dämpfung und die Dispersion der Monomode-Fasern wird durch Erbium-dotierte Faserverstärker bzw. durch dispersionskompensierende Faserspulen wettgemacht. Acht Kanäle im 3,2 bzw. 1,6 nm Raster (400GHz bzw. 200GHz) mit Datenraten bis zu je 10 Gbit/s werden gleichzeitig in beide Richtungen übertragen. Das Projekt MOON konzentriert sich auf das Management optischer Netze. Dafür entwickeln wir rein optische Methoden zur Messung der Parameter des Wellenlängen-Multiplexsignals.

Optische Antennengruppen

Für die Laser-Nachrichtenübertragung zwischen Satelliten benötigt man rasch nachführbare Antennen in Form von Teleskopen. Um eine elektronisch und damit trägheitslos schwenkbare Empfangscharakteristik bei optischen Antennen zu erzielen, verwenden wir ein aus der Mikrowellentechnik bekanntes Prinzip: Mehrere idente Einzelantennen werden individuell gespeist, die relative Phase der einzelnen Laserwellen ist elektrooptisch steuerbar. Mit diesem Konzept kann man erreichen, daß sich die Keule einer Empfangsantenne selbsttätig auf die einfallende Welle ausrichtet. Unser für die europäische Weltraumbehörde ESA aufgebautes Labormodell besteht aus 16 Einzelteleskopen mit einem effektiven Durchmesser von insgesamt 10cm; die Nachführ-Grenzfrequenz beträgt 730 Hz.

Doppler-Windlidar

Für die Meteorologen wäre eine globale Messung der Windgeschwindigkeiten vom Weltraum aus eine große Hilfe bei der Wettervorhersage. Wir beteiligen uns an Projekten der ESA, bei denen Laserlicht an Partikeln (z.B. Staub) und an Molekülen der Atmosphäre rückgestreut wird und zufolge des Doppler-Effektes eine windabhängige Frequenzverschiebung erfährt. Das Kernproblem ist die äußerst geringe Empfangsleistung. Gemeinsam mit einem deutschen Partner haben wir das Softwarepaket DELPHI entwickelt. Es simuliert ein kom-



Test einer Gruppenantenne für Laserkommunikation zwischen Satelliten.

plettes, satellitengestütztes Lidarsystem bei 10µm Wellenlänge mit optischem Überlagerungsempfang. Parallel dazu analysieren wir Doppler-Windlidar-Systeme mit inkohärenter optischer Frequenzmessung (z.B. mittels eines Fabry-Perot Kantenfilters) und Empfangsantennengruppen. □

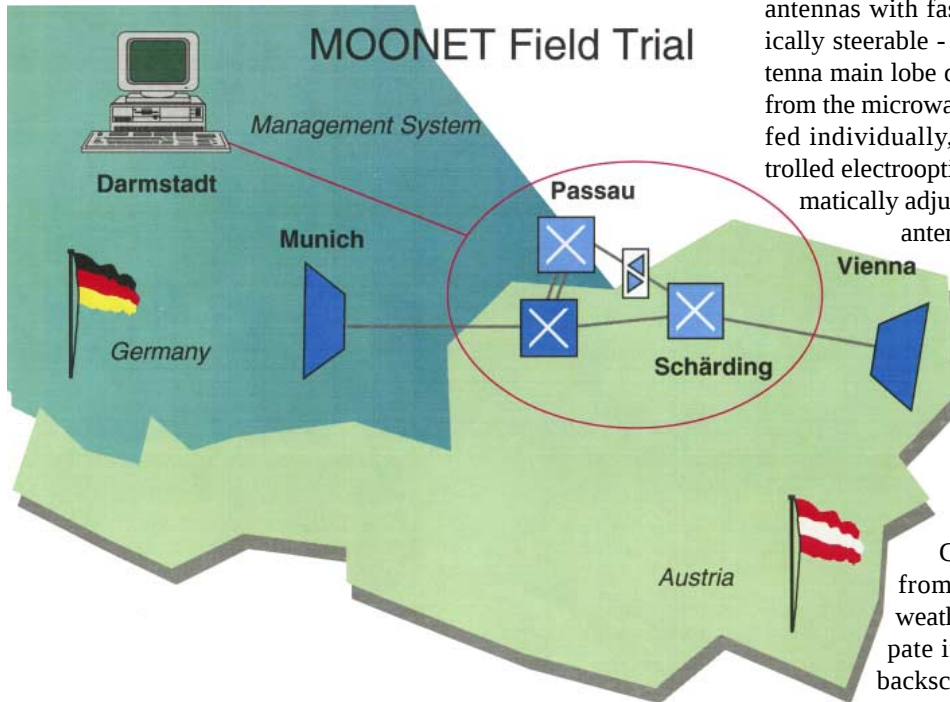
To transmit information one may not only employ electrical signals but may also use laser light. Since the availability of semiconductor lasers and low-loss glass fibers, this method has revolutionized terrestrial data transfer. But even where no glass fibers can be laid - e.g. between satellites - optical communications will shortly demonstrate its potential: the launch of an European pre-operational system (SILEX) is just around the corner, and optical intersatellite data transfer is considered for the second generation of satellite networks like IRIDIUM or TELEDESIC.

We perform research in the field of optical fiber transmission, study laser communication in space, and work on the related subject of optical radar („lidar“).

Optical Wavelength Division Multiplex Transmission

Within the projects PHOTON and MOON, supported by the ACTS program of the European Commission, we contribute to the development of a pan-European trial network. In PHOTON we cooperate in the design of the 500km long fiber

link between Vienna and Munich. It will be optically transparent, i.e. have no electrical repeaters. Attenuation and dispersion of the singlemode fibers will be counterbalanced by



erbium-doped fiber amplifiers and by dispersion compensating fiber spools, respectively. A total of eight channels with a mutual separation of 3.2 or 1.6nm (400 or 200 GHz) and with data rates of up to 10 Gbit/s each will be available in both directions. The project MOON covers the management of optical networks. Here we investigate purely optical methods of monitoring the quality of multiplex signals.

Optical Array Antennas

Laser intersatellite communication requires telescope-like antennas with fast tracking capabilities. To obtain electronically steerable - and thus inertia-free - movement of the antenna main lobe direction, we employ a principle well known from the microwave regime: Several identical subantennas are fed individually, the relative phases of which can be controlled electrooptically. With this concept, the main lobe automatically adjusts to the direction of the incident field, if the antenna is used in the receive mode. The demonstrator developed under contract for the European Space Agency ESA operates at a wavelength of $1.06\mu\text{m}$. It consists of 16 subtelescopes, has an effective diameter of 10 cm, and provides a tracking cutoff frequency of 730 Hz.

Doppler Wind Lidar

Global monitoring of the Earth's wind fields from space would be of paramount benefit for weather forecasting. With this in mind we participate in ESA projects which will use laser pulses backscattered by the atmosphere. The laser pulses are transmitted and received by equipment on board of a satellite, the Doppler frequency shift experienced is a measure of the wind velocity. The main difficulty is the extremely low return energy. Together with a German partner we developed the computer program DELPHI. It simulates a complete, satellite-borne coherent lidar system at a wavelength of $10\mu\text{m}$. In parallel, we analyze Doppler wind lidar systems based on incoherent optical frequency discrimination, e.g. employing a Fabry-Perot filter, and multiple aperture receivers. □

CODIERUNG UND DATENÜBERTRAGUNG 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 gestörten Übertragungskanal eine maximale Informationsübertragungsrate, die Kanalkapazität, zugeordnet, bis zu der 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 wichtiger Schritt in Richtung Kanalkapazität war die Erfindung der Trellis Codierten Modulation (TCM) durch G. Ungerböck - einem in der Schweiz lebenden Österreicher - vor etwa 15 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.

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

Besonders interessiert sind wir an Turbo-Codes und deren iterativer Decodierung. Mit diesem Verfahren kommt man auch in der Praxis bis auf wenige Zehntel dB an das Signal zu Rausch Verhältnis der Kanalkapazität heran. Uns interessieren vor allem vereinfachte Decodierverfahren und die Anpassung der Codes an verschiedene Übertragungskanäle.

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit verschiedenen Verfahren zur extrem schnellen Datenübertragung (VDSL) über kurze Telefonteilnehmer-Anschlußleitungen. Dabei spielt die Bekämpfung von frequenzabhängiger Kabeldämpfung und Nebensprechen durch Entzerrer und die Problematik der elektromagnetischen Verträglichkeit (Beeinflussung von Amateurfunkbändern) eine wichtige Rolle. Umfangreiche Simulationen sind derzeit im Gang.

Ein weiterer Schwerpunkt beschäftigt sich mit der Entwicklung fehlerkorrigierender Codes mit vorgegebenen spektralen Eigenschaften (beispielsweise keine Spektralanteile bei tiefen Frequenzen). Hier erreichen wir mit einfachen kanalangepaßten Trellis Codes bessere Ergebnisse als konventionelle, codierte Übertragungsverfahren, die mit einer Vorentzerrung des Kanals (Tomlinson precoding) im Sender arbeiten.

Bearbeitet wird ferner die extrem einfach zu implementierende Syndrom-Decodierung von Faltungscodes. Für die Optimierung dieses Verfahrens wurden speziell darauf zugeschnittene Faltungscodes mit wählbarer Coderate gefunden. Verbesserungen bei der Decodierung konnten durch die Erweiterung auf Erasure-Decodierung und verschachtelte Codeverkettung erzielt werden.

Interessante Ergebnisse konnten wir auf dem Gebiet der Quellencodierung von Bildern erzielen. Mit Hilfe ausgefeilter Methoden der Datenkompression konnte eine Datenreduktion um den Faktor 130 erzielt werden, ohne daß sich die Qualität der Bilder merkbar verschlechtert. Der Kombination von Quellen- und Kanalcodierung wollen wir in Zukunft erhöhte Aufmerksamkeit schenken. □

TURBO-CODES

- Kanalangepaßte Codierung
- xDSL-Schnelle Datenübertragung über Cu-Leitungen
- Datenkompression bei Bildübertragung

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



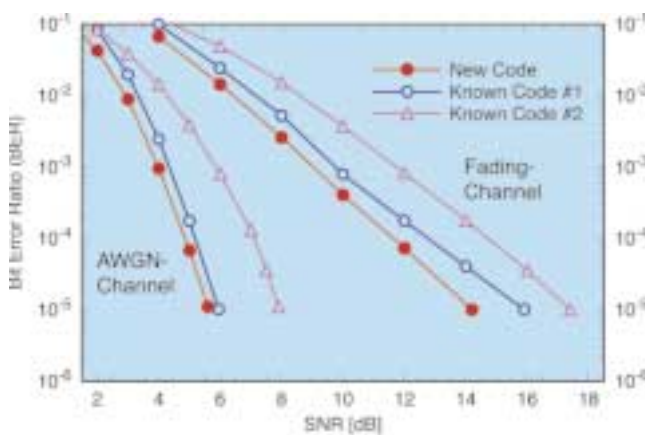
Datenreduktion im Verhältnis 130:1.

Recently we started research in the hot topic of Turbo-Codes and their iterative decoding algorithms. We try to adapt these methods to short length partial response channels and to simplify decoding algorithms.

Much effort is devoted to the development of error correcting codes with specific spectral properties, e.g. codes with no spectral components at DC. These codes achieve better performance than the much more popular methods of coded data transmission over pre-equalized channels by means of a Tomlinson/Harashizua precoder. Intensive work is concerned with very high speed data transmission over short copper lines (VDSL). Here digital equalization of line attenuation and suppression of narrow band spectral components in order to avoid interference with radio communications are of vital importance. Various transmission methods are compared via computer simulations.

Encouraging results have been obtained by low complexity syndrom decoders for convolutional codes which are optimized with respect to syndrom register length. Substantial improvements can be obtained by erasure decoding and code concatenation.

Interesting results have been obtained in the fields of data compression of ECG signals and two dimensional images. Compression ratios up to 130 have been achieved without remarkable deterioration of signal or image quality. In the future we want to optimize joint source and channel coding techniques. □



Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei codierter Modulation.

SPRACH- UND AUDIOKOMMUNIKATION SPEECH AND AUDIO COMMUNICATION

Ausgehend von der Sprachtelephonie 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, Mobilfunk, Internet) wird ergänzt durch die Automatisierung des Informationszugangs mit gesprochener Sprache in der sprachgesteuerten Gerätebedienung, Diktiersystemen und Dialogsystemen mit künstlicher Sprachausgabe. Die Multimediatechnik treibt die Integration von Sprach- und Audiokommunikation voran, indem einheitliche Standards zur Datenkompression entwickelt werden und Gemeinsamkeiten bei der Modellierung von Musikinstrumenten und menschlicher Sprache sowie bei der gehörgerechten Signalanalyse betont werden.



Physical models of string instruments such as the bass guitar achieve highly natural-sounding synthesis but still require a good player.

Wir arbeiten seit Beginn der achtziger Jahre an einer Palette von Sprachverarbeitungssystemen. Bei der Sprachentstörung steht die automatische Unterdrückung von Störgeräuschen (z.B. beim Autotelephon) mit Methoden der Echtzeitsignalverarbeitung im Vordergrund. Die Sprachsynthese erfordert die interdisziplinäre Kombination computerlinguistischer Methoden zur Analyse und Umsetzung des auszusprechenden Textes mit sprachakustischen und signaltheoretischen Methoden zur Generierung des künstlichen Sprachschalls. Über ein Jahrzehnt wurde das System GRAPHON zur textgesteuerten Synthese des Deutschen entwickelt, ein neuer Schwerpunkt liegt auf der inhalts gesteuerten Sprachsynthese. Die Sprach- und Tonsignalcodierung wird gemeinsam mit industriellen Partnern betrieben, so konnten u.a. Beiträge zu einem von den AT&T Bell Laboratorien vorgeschlagenen Sprachcodierer bei 2400 bit/s geleistet werden.

Eine besondere Bedeutung hat die Erforschung nichtlinearer Signalmodelle für Sprache und Musikinstrumente erlangt. So kann mit einem einfachen nichtlinearen Oszillator synthetische Sprache mit sehr hoher Qualität erzeugt werden. Trotz

der erhöhten Komplexität dieses Ansatzes konnten wir bereits Echtzeitanwendungen auf Standard PCs demonstrieren. Auch die physikalische Modellierung verschiedener Saiteninstrumente wurde erfolgreich in Signalverarbeitungs-algorithmen umgesetzt.

Die Forschungsgruppe ist Mitglied im ESPRIT Network of Excellence in Language and Speech (ELSNET), im Socrates Thematic Network Speech Communication Sciences und in der COST Aktion 258 „Die Natürlichkeit der synthetischen Sprache“. □

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. Multimedia technology drives the integration of speech and audio communication: it leads to the development of uniform standards for data compression and emphasizes similarities in models of musical instruments and human speech as well as auditory signal analysis.

SPOKEN LANGUAGE PROCESSING

provides a computer system not only with an artificial voice and ear, but also with higher processing levels of contents analysis and generation, and dialogue management.

Since the early eighties, we have worked on a range of speech processing systems. Speech enhancement focuses on automatic noise suppression (e.g., for car telephones) using methods of real-time signal processing. Speech synthesis requires the inter-disciplinary combination of computer linguistic methods for the analysis and conversion of the synthesized text with speech acoustics and signal-theoretic methods for the generation of an audible speech waveform. Over a decade, we have developed the text-to-speech system GRAPHON for German, a more recent focus lies on concept-to-speech synthesis. Work on speech and audio coding is done in collaboration with industry, exemplified through contributions made to a 2400 bit/s speech coder proposed by AT&T Bell Laboratories.

Research into nonlinear signal models for speech and musical instruments has attained special importance. For instance, a simple nonlinear oscillator is able to synthesize speech of very high quality. Notwithstanding the increased complexity, we have already demonstrated real-time applications on standard PCs. Physical models of various string instruments have successfully been turned into signal processing algorithms, too.

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 Action 258 “The Naturalness of Synthetic Speech“. □
<http://www.nt.tuwien.ac.at/dspgroup/speech.html>

NICHTLINEARE SIGNALVERARBEITUNG NONLINEAR SIGNAL PROCESSING

Für einige Signalverarbeitungssysteme stellt Nichtlinearität eine wesentliche Komponente dar: klassische Beispiele für nichtlineare Systeme sind gedächtnislose Quantisierer, Detektoren und Klassifizierer. Für nichtlineare gedächtnisbehaftete oder dynamische Systeme (wie z.B. Oszillatoren, Filter usw.) ist der übliche Zugang zur Analyse und Entwurf die Linearisierung, wie man z. B. am Gebiet der adaptiven Filterung erkennt. Unser Schwerpunkt liegt auf der Integration neuerer Verfahren aus der Chaostheorie, der parallelen verteilten Verarbeitung und der nichtlinearen Statistik, womit wir eine breit angelegte methodische Aufarbeitung der nichtlinearen digitalen Signalverarbeitung beabsichtigen. Dieses Arbeitsprogramm wird von der Industrie und öffentlichen Institutionen (z.B. EU Marie Curie Fellowship) durch Förderung von Forschungsprojekten unterstützt.

Die Verarbeitung chaotischer Signale wird vom Bestreben getragen, Ergebnisse der Chaostheorie (also der Theorie nicht vollständig vorhersagbaren Verhaltens in deterministischen Systemen) auf die Analyse und Verarbeitung natürlicher Signale zu übertragen, so z.B. auf menschliche Sprache oder biomedizinische Signale wie das Elektrokardiogramm. Diese Stoßrichtung zielt auf innovative Signalmodellierung ab, bei der deterministische Oszillatoren stochastische Signalquellen ersetzen. Als Grundwerkzeug entwickeln wir Analyseverfahren, die nichtlineare Signaleigenschaften wie die Dimensionalität, Informationsproduktionsrate oder lokale/ globale Stabilität herausarbeiten. Erste Anwendungen konnten in der Sprachverarbeitung (Codierung, beschleunigtes Abspielen von "voice mail", Fehlerverdeckung) demonstriert werden.

Neurale Netze erweisen sich als vielseitiges Werkzeug sowohl für statische Nichtlinearitäten - man denke an die Mustererkennung für die automatische Sprach- oder Bilderkennung, als auch für dynamische Nichtlinearitäten. Ihre Architektur basiert auf Konzepten der parallelen verteilten Verarbeitung und ist daher äußerst attraktiv für Anwendungen mit hohen Geschwindigkeits- und/oder Komplexitätsanforderungen. Wir haben Erfahrung mit Anwendungen neuraler Netze zur Rauschunterdrückung und Signalentstörung, zur Einzelworterkennung und zur Sprachsynthese, sowie in der digitalen Übertragungstechnik. Algorithmenentwicklungen schließen Lernverfahren auf der Grundlage von Kalmanfiltern und einen effizienten Ansatz zur Unterraumfilterung ein.

Nichtlineare Statistik ist ein Sammelbegriff, der Konzepte wie die nichtlineare statistische Signalmodellierung, die Analyse mit Statistiken höherer Ordnung, informationstheoretische Ansätze und sog. Rangordnungsfiler einschließt. Wir haben ein neues Verfahren zur Schätzung nichtlinearer autoregressiver Modelle mit allgemeinem, nicht-additivem Rauschen aus dem Prinzip der kleinsten Entropie abgeleitet und erfolgreich für die Sprachsignalanalyse getestet. Eine weitere wichtige Anwendung ist die Berechnung des maximalen Vorhersagegewinns basierend auf der Beobachtung eines Signals. Für diese Arbeiten haben wir Algorithmen zur Schätzung der Transinformation entwickelt, um z.B. Lastkurvendaten von Energieversorgungsunternehmen auf Ihre

Vorhersagbarkeit hin zu untersuchen. Diese Ergebnisse werden dann mit implementierten Prädiktoren verglichen, um festzustellen, ob diese Vorhersagealgorithmen noch verbesserbar sind oder nicht. Nichtlineare Zusammenhänge bei der zeitlichen Entwicklung von Mobilfunkkanälen werden gegenwärtig mit ähnlichen Methoden untersucht. □

For some signal processing systems, nonlinearity is an essential component: classical examples for nonlinear memoryless systems are quantizers and pattern classifiers. For nonlinear dynamical systems (i.e., systems with memory such as oscillators, filters etc.), the conventional approach to their analysis and design has been linearization as can be seen e.g. in the field of adaptive filtering. Our focus is to integrate emergent techniques from chaos theory, parallel distributed processing, and nonlinear statistics to arrive at a complete methodological toolbox for nonlinear digital signal processing. This research program is supported by industry and public institutions (e.g., the EU Marie Curie Fellowship program) through grants and cooperation projects.



Phase-space representations of nonlinear oscillations like speech can be observed in real-time with a compact DSP system.

Chaotic Signal Processing is the endeavor to transfer results from chaos theory (i.e., the theory of limited predictability for the evolution of deterministic systems) to the analysis and processing of natural signals such as human speech or biomedical signals, e.g., electrocardiograms. The thrust is towards innovative signal modeling where deterministic oscillators replace stochastic signal sources. As a basic tool, we develop analysis methods that reveal nonlinear signal properties such as dimensionality, information production rate, or local/global stability. First applications to speech processing (coding, fast playback for voice mail, error concealment) have been demonstrated.

Neural Networks constitute a versatile tool for both static nonlinearities, e.g. pattern classification for automatic speech or image recognition, and dynamic nonlinearities. Their

architecture is based on parallel distributed processing concepts and, therefore, most attractive for high-speed and/or high-complexity applications. We have experience with neural network applications to noise reduction and signal enhancement, isolated word recognition and speech synthesis, as well as digital communications. Algorithmic developments include Kalman-filtering based learning algorithms and an efficient subspace filtering approach.

Nonlinear Statistics is a summary term including concepts such as nonlinear statistical signal modeling, higher-order statistics analysis, information theoretic approaches, and order-statistic filtering. We have derived a new minimum-entropy estimation method for nonlinear autoregressive

models with general, non-additive noise and we have tested it successfully for speech analysis purposes.

Another important task is the evaluation of the maximum prediction gain based only on the observation of a single signal record. To this end, we have developed an algorithm for mutual information estimation that allows to assess the predictability, e.g., of load curves in energy management systems. The results are compared to results obtained with existing prediction algorithms to decide if they can be improved or not. Similar investigations into the nonlinear properties of the time evolution of mobile radio channels are under way. □

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

AUTOMATISCHE DSP-CODE-GENERIERUNG AUTOMATIC DSP CODE GENERATION

Viele Hochsprachen-Compiler für digitale Signalprozessoren (DSPs) erzeugen Code, der hinsichtlich Ausführungszeit und Speicherbedarf nur unzureichend optimiert ist. Oft ist die Programmierung auf Assembler-Ebene die einzige Alternative, die jedoch sowohl zeitaufwendig als auch fehleranfällig ist. Neue Code-Generierungs- und Code-Optimierungstechniken werden für Signalprozessoren zur Entschärfung dieser Problematik entwickelt. Verglichen mit Compilern für General-Purpose-Prozessoren sind längere Übersetzungszeiten akzeptabel und daher können Algorithmen mit höherer Rechenkomplexität angewandt werden.

Eine wichtige Klasse von Algorithmen der digitalen Signalverarbeitung können in Form von Datenflußgraphen (DFGs) dargestellt werden. Wir entwickeln Algorithmen zur automatischen Übersetzung von DFGs in hochgradig optimierten DSP-Assembler-Code. Typischerweise erfolgt die Übersetzung in mehreren Schritten: Bestimmung der Operationsreihenfolge (scheduling), Befehlsauswahl, Registerallokation, Speicherbankallokation, Optimierung des Datenspeicher-Layouts und Code-Kompaktierung. Diese kombinatorischen Optimierungsaufgaben können einen extrem großen Lösungsraum haben. Ein zusätzliches Problem stellt die wechselseitige Abhängigkeit der einzelnen Übersetzungsschritte dar. Eine vollständige Untersuchung des Lösungsraumes ist bereits für kleine Aufgaben unmöglich. Aus diesem Grund wenden wir moderne heuristische Techniken wie Simulated Annealing, Tabu Search und genetische Algorithmen an.

Für einen Industriepartner haben wir einen DFG-Compiler entwickelt, der optimierten Assembler-Code für eine DSP-Architektur erzeugt, die in integrierten Schaltungen für die Telekommunikation eingesetzt wird. Derzeit entwickeln wir einen retargierbaren DFG-Compiler. Der Compiler verwendet eine Verhaltensbeschreibung des Zielprozessors. Das ermöglicht eine Umrüstung des Compilers auf einen anderen Zielprozessor durch einen einfachen Austausch der Architekturbeschreibung. □

Many high-level language compilers for digital signal processors (DSPs) produce very poor code with respect to code size and performance. Often, the only alternative is assembly-level programming which is both time-consuming and error-prone. To overcome this problem, new code generation and optimization techniques are developed for DSPs. As compared to compilers for general-purpose computers, lower compilation speed is acceptable and therefore algorithms with higher computational complexity may be applied.

An important class of digital signal processing algorithms can be expressed by data flow graphs (DFGs). We are developing algorithms that allow DFGs to be automatically translated into highly optimized DSP assembly code. Typically, a translation is divided into several steps: operation scheduling, instruction selection, register allocation, memory bank allocation, data memory layout optimization, and code compaction. All these combinatorial optimization problems can have an extremely large solution space. What makes it even worse is the fact that these problems strongly interact. Exhaustive solution space exploration is impossible even for small problem sizes. For this reason, we apply modern heuristic techniques such as simulated annealing, tabu search, and genetic algorithms.

For an industrial partner, we have been developing a DFG compiler that generates optimized assembly code for a DSP core integrated on telecommunication devices. With this compiler, time-to-market is significantly reduced. Currently, we are developing a retargetable DFG compiler. The compiler is supplied with a behavioral architecture description specifying the target processor. This allows the user to retarget the compiler by changing the architecture description file. □

COMBINATORIAL OPTIMIZATION

The generation of efficient DSP programs consists of several complex combinatorial optimization problems. We apply modern heuristics such as simulated annealing, table search, and genetic algorithms.

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

ADAPTIVE SIGNALVERARBEITUNG UND OPTIMALER FILTERENTWURF ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING AND OPTIMAL FILTER DESIGN

Die Forschung und Lehre auf dem Gebiet der adaptiven Signalverarbeitung und des Entwurfs digitaler Filter hat an unserem Institut Anfang der achtziger Jahre begonnen. In den letzten Jahren hat sich der Arbeitsschwerpunkt von den konventionellen, frequenzselektiven Filtern zu allgemeineren Filterkonzepten hin verschoben, die heutzutage in vielen Signalverarbeitungsanwendungen, wie zum Beispiel bei Signalkompression und -entstörung, Multimediasystemen, Datenübertragung und Mobilkommunikation, benötigt werden. Ein gemeinsames Merkmal dieser modernen Filtermethoden ist die Verwendung numerischer Optimierungsverfahren für Filterentwurf und/oder Filteroperation. Dadurch kann die Filtercharakteristik automatisch an die Struktur der zu verarbeitenden Signale angepaßt werden. Zu den Anwendungen dieser optimierten Filter zählen die mehrfachauflösende Spektralanalyse und die Prädiktion von Signalen.

Derzeit befassen wir uns auf dem Gebiet der adaptiven Signalverarbeitung mit folgenden Themenkreisen:

Entwurf und Implementierung adaptiver Filterbänke zur Sprachsignalentstörung, Einsatz adaptiver Kalmanfilter zur Glättung verrauschter autoregressiver Signale (AR-Signale), Anwendung der adaptiven Wavelet-Packet-Transform zur Störsignalunterdrückung bei Audiosignalen.

Neben der Entwicklung der entsprechenden Signalverarbeitungsalgorithmen streben wir auch deren Implementierung im Echtzeitbetrieb mit integrierten digitalen Signalprozessoren an.

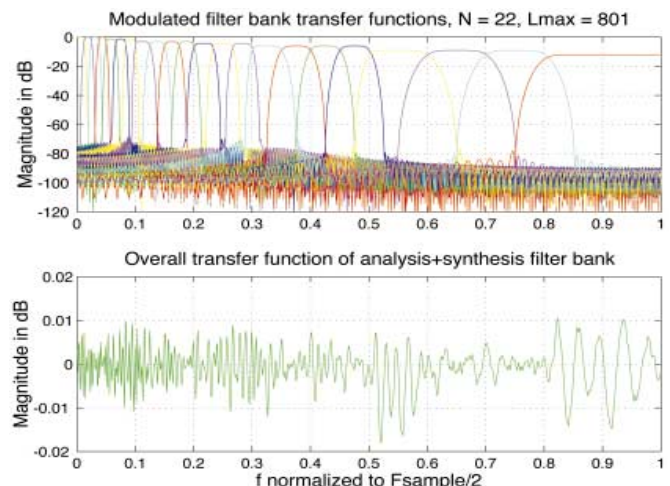
Wir setzen adaptive Filterbänke zur Entstörung von Sprachsignalen ein, wobei die massiven, kurzzeitstationären Störsignale auf elektrischem oder akustischem Wege der Sprache überlagert sein können. Die Grundlage der Algorithmen bilden Overlap-Add-FFT-Filterbänke oder als Alternative cosinusförmig modulierte Filterbänke. Am Eingang unserer Entstörungssysteme steht nur das gestörte Signal zur Verfügung, so daß die Parameter des Störsignals aus dem verrauschten Sprachsignal gewonnen werden müssen. Dazu verwenden wir ein spezielles spektrales Schätzverfahren, das keine störanfällige, automatische Sprachpausendetektion benötigt. Damit können auch in gewissen Grenzen nichtstationäre Störsignale unterdrückt werden.

Derzeit arbeiten wir an der weiteren Verbesserung der Systeme, wobei versucht wird, einige wichtige Wahrnehmungseigenschaften (Frequenzgruppen, Maskierungseffekte) des menschlichen Gehörs in die Entstöralgorithmen einzubauen.

Adaptive Kalmanfilter haben sich als sehr flexible Methode zur optimalen Signalfilterung und -glättung in vielen Anwendungen bewährt. Im Gegensatz zu den konventionellen Kalmanfiltern, die vorgegebene Signalmodelle verwenden, können sich adaptive Kalmanfilter an die jeweilige Signalstruktur anpassen. Wir verwenden adaptive Kalmanfilter zur Unterdrückung von Gaußschem Rauschen und von Impulsrauschen, wobei die Nutzsignale als autoregressive Prozesse (AR-Prozesse) charakterisiert werden. Viele natürliche Signale wie Sprache, Musik, Erdbebensignale, biomedizinische Signale, können durch AR-Prozesse gut modelliert werden. In unseren Signalentstörungssystemen wird durch

Schätzung der AR-Modellparameter anhand des entstörten Signals das Kalmanfilter laufend neu adaptiert.

Wir haben auch damit begonnen, unsere Signalentstörungsalgorithmen mit nichtlinearer Filterung basierend auf Wavelet- und Wavelet-Packet-Signalzerlegungen zu vergleichen. Die wesentlichen Vorteile dieser neuen Signalverarbeitungsmethoden sind der vergleichsweise geringe Rechenaufwand und die universellen Einsatzmöglichkeiten, da im Gegensatz zum Kalmanfilter keine speziellen Signalmodelle vorausgesetzt werden. Die ersten Untersuchungen haben allerdings gezeigt, daß bei verrauschten Sprachsignalen die perzeptive Qualitätsverbesserung relativ klein ist. Hier werden in Zukunft erhebliche Anstrengungen notwendig sein, um Wavelet-Signalentstörungssysteme an die Gegebenheiten von Sprachsignalen anzupassen.



22-channel multirate filter bank to approximate critical bands of the human auditory system (upper trace: individual bandpass filters, lower trace: reconstruction error of analysis/synthesis filter bank).

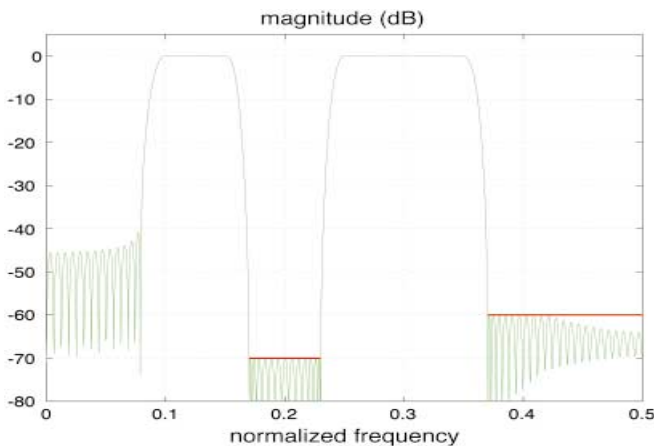
Beim Entwurf digitaler Filter interessieren wir uns besonders für FIR und IIR Systeme, die im Frequenzbereich sowohl Vorschriften für ihren Betrags- als auch für ihren Phasengang erfüllen. Solche Filter werden zur gleichzeitigen Betrags- und Phasenentzerrung gegebener Systeme verwendet. Eine weitere Anwendung ist ihre Verwendung als „low delay filters“, die zwar annähernd lineare Phase in den Durchlaßbereichen haben, deren Verzögerung jedoch deutlich geringer als die exakt linearphasiger Filter ist. Das Entwurfsproblem ist ein komplexes Approximationsproblem mit Nebenbedingungen, die das Einhalten eines geforderten Toleranzschemas für Betrag und Phase ermöglichen. Da wir den Filterentwurf als interaktiven Prozeß verstehen, sind wir insbesondere an schnellen Algorithmen interessiert, um mit vertretbarem Zeitaufwand möglichst viele Entwürfe miteinander vergleichen zu können und dann eine für die konkrete Anwendung maßgeschneiderte Lösung zu erhalten.

Wir verwenden die von uns entwickelten Optimierungsverfahren auch zum Entwurf von Antennen- und Mikrophongruppen. Im allgemeinen Fall beliebiger Gruppengeometrien und unterschiedlicher Richtdiagramme der Einzelelemente ist das Entwurfsproblem ebenfalls ein komplexes Entwurfs-

problem, für das unsere Verfahren bestens geeignet sind. Bei Antennengruppen interessieren wir uns besonders für sehr schnelle Algorithmen, die eine regelmäßige Änderung der Gruppencharakteristik in Echtzeit erlauben. Die Verwendung von Mikrophongruppen zur Sprachentstörung ist Teil unserer aktuellen Forschungsarbeiten. □

At our Institute, research and education in the area of adaptive signal processing and filter design have been started in the early eighties. During this period of time our interests have been shifted from classical, frequency selective filters to more general filter concepts. These advanced filters are needed to an ever increasing extent in various signal processing applications, like signal compression and de-noising, multimedia computing, data communications, and mobile radio. A common property of advanced filtering techniques is the usage of optimization methods for design and/or operation of these filters. As a consequence, the filter characteristic can be adapted to signal parameters allowing for multi-resolution spectral analysis, signal prediction, and the like.

Currently, our research activities regarding adaptive signal



Constrained design of length 161 multiband FIR filter with least squares and Chebyshev behavior in different frequency bands.

processing cover the following topics:

Design and implementation of adaptive filter banks for speech enhancement purposes, adaptive Kalman smoothing of noisy autoregressive (AR) signals, application of adapted wavelet packets for de-noising of audio signals.

Whenever possible, the development of signal processing algorithms for all of these topics includes real-time implementations using integrated digital signal processing chips.

Concerning adaptive filter banks, we are developing efficient algorithms for the enhancement of speech signals which are heavily corrupted by short-time stationary, acoustically or electrically added disturbances. The algorithms are based on spectral amplitude estimation using an overlap-add FFT filter bank, or cosine-modulated decimated filter banks, respectively. At present, we focus on single input systems where only the corrupted speech signal is available and noise parameters must be estimated from the noisy speech signal. We apply a reliable noise spectrum tracking scheme which requires no automatic speech pause detection. As a result, nonstationary disturbances can be tracked in many practical situations.

In order to further improve the noise suppression behavior, we are currently including simplified models of the human auditory system (critical band analysis, utilization of masking properties) to the speech enhancement algorithms.

Adaptive Kalman filters and smoothers offer a very flexible method for optimum signal processing. Compared to conventional Kalman filters which use fixed signal models, adaptive Kalman filters adjust their characteristics to time-variant signal parameters.

Our main objective for using these systems is the suppression of Gaussian noise and impulsive noise for AR signals. Many natural signals can be sufficiently represented by autoregressive models. Examples are audio signals like speech and music, seismic signals, and biomedical signals. Our systems are comprised of an AR parameter estimation algorithm operating in combination with a Kalman filter.

Recently, we have started to compare our signal enhancement systems investigated so far to nonlinear filtering methods based on wavelet and wavelet packet signal decompositions. The advantage of this emerging technique is the low computational complexity which is comparable to that of our filter bank and Kalman filters. Additionally, wavelet analysis does not require a specific signal model as in case of adaptive Kalman filters. Thus, these new methods can be applied to a broader class of signals. However, straightforward application of wavelets for de-noising of speech signals yields only a poor perceptual signal quality. A lot of future research work must be carried out to refine wavelet-based speech enhancement methods.

In the area of digital filter design we focus on FIR and IIR systems satisfying arbitrary magnitude and phase specifications in the frequency domain. These filters can be used for simultaneous magnitude and phase equalization and as an alternative to FIR filters with exact linear phase ("low delay filters"). The design problem is formulated as

a complex approximation problem with additional constraints to satisfy a given tolerance scheme for the magnitude as well as for the phase responses. Since we consider digital filter design to be an interactive process, we are especially interested in fast algorithms that allow the user to compare different specifications and different criteria in order to get a satisfying solution tailored to the specific application within a reasonable amount of time.

We also use our optimization algorithms for the design of antenna and microphone arrays. In the general case of arbitrary array geometries and arbitrary patterns for each array element the array design problem becomes a complex approximation problem to which our algorithms are perfectly matched. Regarding antenna arrays we are interested in very fast algorithms that allow the pattern to be updated frequently. We are currently working on the use of microphone arrays for speech enhancement purposes. □

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

ADAPTIVE KALMAN FILTERS

may be used to enhance signals heavily disturbed by additive noise.

Prior knowledge of signal parameters is not necessary since they are estimated automatically during processing.

ZEIT-FREQUENZ-SIGNALVERARBEITUNG TIME-FREQUENCY SIGNAL PROCESSING

In vielen Bereichen der Physik, Technik und Medizin stellt sich die Aufgabe, hochgradig instationäre Signale und schnell zeitvariante Systeme zu verarbeiten bzw. zu analysieren. Zeit-Frequenz-Signaldarstellungen sind hier leistungsfähige Hilfsmittel. Im Rahmen zweier vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützter Forschungsprojekte werden Theorie und Anwendungen von Zeit-Frequenz-Signaldarstellungen untersucht.

Es wurden neue Klassen hochauflösender quadratischer Zeit-Frequenz-Signaldarstellungen entwickelt, die kompatibel zu gegebenen Signaltransformationen und Zeit-Frequenz-Geometrien sind. Neue Formen von überabgetasteten Filterbänken und redundanten Zeit-Frequenz-Signalentwicklungen wurden definiert und zur Signalcodierung angewandt. Derzeit wird der Einsatz von gruppen- und operatorentheoretischen Methoden in der Zeit-Frequenz-Signalanalyse untersucht.

Weiters wurden neuartige Zeit-Frequenz-Darstellungen vorgeschlagen, die eine einfache Analyse der Zeit-Frequenz-Energieverteilung von Signalmäumen und instationären Zufallsprozessen sowie des Zeit-Frequenz-Durchlaßbereichs

linearer zeitvarianter Systeme erlauben. Diese Ergebnisse führten zur Entwicklung von "Zeit-Frequenz-Filtern", bei denen die Filtercharakteristik unmittelbar in der Zeit-Frequenz-Ebene vorgegeben werden kann.

Die derzeitigen Arbeiten konzentrieren sich auf eine Verbindung von Zeit-Frequenz-Methoden und Methoden der statistischen Signalverarbeitung. Unsere Ergebnisse erlauben den Entwurf von Signaldetektoren und Signalschätzern (Optimalfiltern) unmittelbar in der Zeit-Frequenz-Ebene sowie auch die Entwicklung völlig neuer Zeit-Frequenz-Methoden für die Detektion und Schätzung von instationären Signalen. Dabei stehen optimale und robuste Verfahren im Vordergrund.

Many areas of physics, engineering, and medicine require the processing of highly nonstationary signals and fast time-varying systems. For this task, joint time-frequency signal



representations are powerful tools. Theory and applications of time-frequency representations are being investigated within two research projects supported by the Austrian Science Foundation.

We introduced new classes of high-resolution quadratic time-frequency signal representations which are compatible to given signal transformations and time-frequency geometries. New types of oversampled filter banks and redundant time-

frequency signal expansions were developed and applied to signal coding. Currently we investigate the use of group- and operator-theoretic methods in time-frequency analysis.

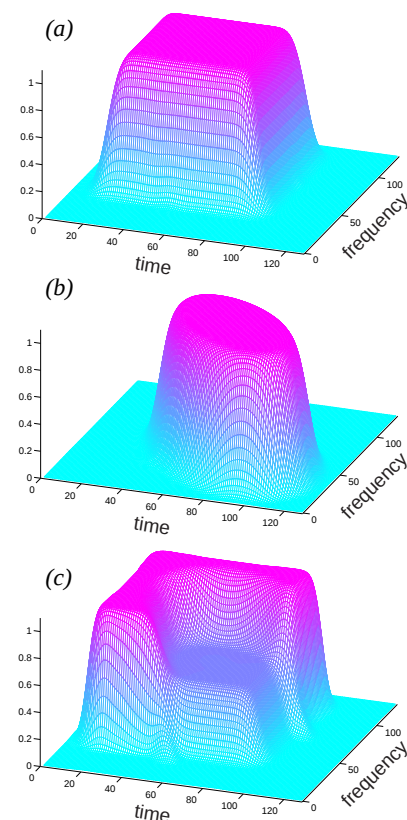
New time-frequency representations were proposed that permit a simple visualization of the time-frequency energy distribution of signal spaces and nonstationary random processes as well as the time-frequency pass region of linear time-varying systems. These results led to the develop-

ment of "time-frequency filters" that allow a direct specification of filter characteristics in the time-frequency plane.

Current research efforts concentrate on the combination of time-frequency methods with methods for statistical signal processing. Our recent results allow a time-frequency design of signal detectors and estimators (optimum filters) as well as the development of new time-frequency methods for signal detection and estimation, with emphasis placed on optimum and robust techniques.

TIME-FREQUENCY FILTERS

Time-frequency filters are designed directly in a joint time-frequency domain. This allows an easy adaptation of the filter characteristics to the time-frequency structure of the signals to be processed.



Time-frequency representations of (a) a nonstationary signal process, (b) a nonstationary noise/interference process, and (c) the optimum time-frequency filter used for signal enhancement/estimation. The filter passes time-frequency regions where there is only signal, attenuates time-frequency regions where both signal and noise are present, and suppresses time-frequency regions in which there is only noise.

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

MOBILKOMMUNIKATION MOBILE COMMUNICATIONS

Mobilkommunikation kommt zwei Grundbedürfnissen des Menschen entgegen: miteinander zu reden, und sich von Ort zu Ort 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 (PCN)“.

Wir bringen unsere Forschungsergebnisse in die europäische Kooperation COST 259 “Wireless Flexible Personalized Communications“ ein, in der wir die Arbeitsgruppe “Antennas and Propagation“ führen. COST 259 ist das Nachfolgeprogramm von COST 231 “Evolution of Land Mobile (Including Personal) Communications“, an dem wir uns auch beteiligten. Wir beteiligen uns an der Evaluation der Projekte des ACTS-Programmes der EU.

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 Schweden, Deutschland und Dänemark gewinnen. Doktoranden und Diplomanden aus Finnland, Deutschland, Spanien, Portugal und Italien 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. In einem EU-Projekt arbeiten wir in Kooperation mit Firmen und Netzbetreibern aus Deutschland, Frankreich, Norwegen, und Griechenland an verbesserten Meßmethoden und standardisierten Kanalmodellen. Dabei gilt unser besonderes Augenmerk jenen Kanaleigenschaften, die für zukünftige Mobilfunksysteme von großer Bedeutung sein werden: Winkelauflösung und Stationarität. 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. Von France Telecom zur Verfügung gestellte Meßdaten haben wir mit einem selbst entwickelten Verfahren zur Bestimmung der Einfallrichtungen von zeitaufgelösten Meßdaten ausgewertet. Damit konnten wir unser verallgemeinertes Kanalmodell verifizieren und weiterentwickeln.

Die Stationarität des Kanals spielt vor allem bei schnell bewegten Empfängern in dicht verbauten Gebieten eine Rolle. Schließlich entwickelten wir ein Datenformat für Kanalmeßgeräte, das eine genauere und einheitliche Speicherung von Meßdaten ermöglicht. Damit soll die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Messungen von verschiedenen Institutionen gewährleistet werden. Diese Arbeit geschieht in Abstimmung mit der europäischen Normierungsbehörde ETSI und soll zu einem europaweiten Standard führen.

Für die Post & Telekom Austria haben wir TDISP, ein Programm zur Abschätzung der Zeitdispersion, entwickelt. Dieses Programm dient einer verbesserten Funknetzplanung und damit einer erhöhten Übertragungsqualität.

Intelligente Antennen

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 Signalidentifi-



kation und Richtungsschätzung, die das Kernstück der intelligenten Antenne darstellen. Neben Simulationen bauen wir auch einen Demonstrator für intelligente Antennen auf, mit dessen Hilfe praktische Untersuchungen der Algorithmen möglich werden. In diesem Zusammenhang beschäftigen wir

INTELLIGENTE ANTENNEN

verbinden digitale Signalverarbeitung mit Antennengruppen. Sie richten ihr Signal nur auf gewünschte Teilnehmer und blenden Störer aus.

uns auch mit der Kalibrierung der Sendeempfänger.

Unsere Forschungsarbeiten münden in Patentanmeldungen, z.B. über Methoden zur effizienten Implementierung der rechenintensiven Strahlformungsalgorithmen. In der Arbeitsrichtung „Intelligente Antennen“ sind Spezialisten auf dem Gebiet der digitalen Signalverarbeitung genauso tätig wie Kollegen aus den Fachgebieten HF-Hardware-Entwicklung, Wellenausbreitung, Antennen und Informatik.

Bitfehlerwahrscheinlichkeiten

Messungen und Simulationen haben wiederholt gezeigt, daß die Sprachqualität von Schnurlostelephonen nicht nur durch Rauschen, sondern vor allem auch durch Restfehler aufgrund der Zeitdispersion beeinflusst wird. Diese Restfehler, vergleichbar mit den „Geisterbildern“ im Fernsehen, entstehen durch verzögerte Echos. Wir konnten den Fehlermechanismus physikalisch als Folge von Gruppenlaufzeitspitzen interpretieren und geschlossene Formeln für die entstehenden Fehleraten angeben. Eine Wahl des Abtastzeitpunktes, die an die jeweiligen Kanalverhältnisse angepaßt ist, erlaubt eine Verringerung der Restfehlerrate.

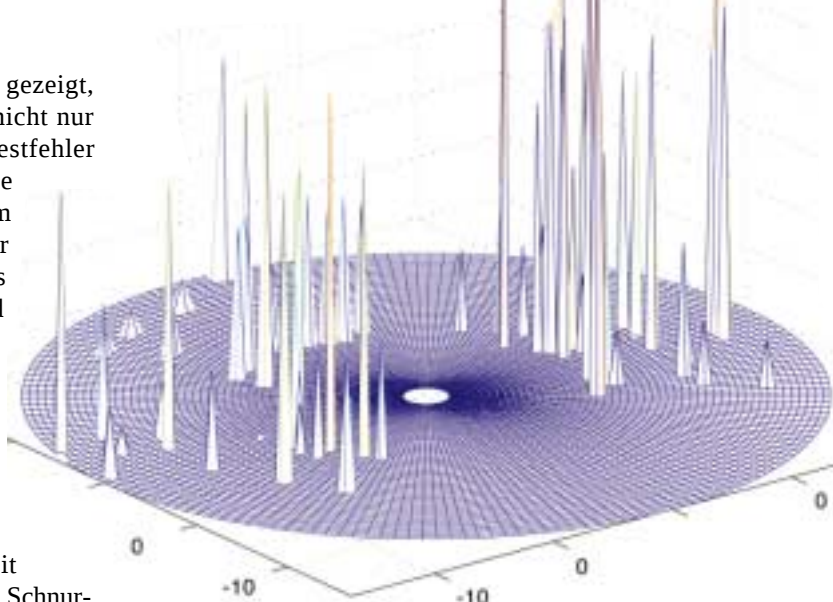
Unsere theoretischen Erkenntnisse wenden wir auf DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), den europäischen Standard für digitale Schnurlostelephone, an. In Kooperation mit Forschern aus England und den USA entwickeln wir Schnurlosempfänger, die geringere Empfindlichkeit gegen Zeitdispersionseffekte zeigen. Auch haben wir eine experimentelle DECT Übertragungstrecke aufgebaut, die es im Labor gestattet, die Leistungsfähigkeit derartiger Systeme unter realistischen Betriebsbedingungen zu ermitteln. Der Versuchsaufbau wurde zur Überprüfung industrieller Prototypen erfolgreich eingesetzt, und wird in einer weiteren Stufe mit intelligenten Antennen versehen.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) ist ein Modulations- und Vielfachzugriffsverfahren, das vor allem bei hohen Datenraten eingesetzt wird, wie sie z.B. in drahtlosen Computernetzwerken erwünscht sind. Durch die Aufteilung des Datenstroms auf viele Träger werden Probleme mit der Zeitdispersion stark gemildert. Wir beschäftigen uns mit der Optimierung der Signalisierungspulse für die Informationsübertragung und einen verbesserten Empfang durch kanalangepaßte Wahl des Abtastzeitpunktes.

Mobilfunknetze

Eine von uns entwickelte stochastische Methode zum Modellieren der Teilnehmerbewegung erlaubt eine umfangreiche Untersuchung von komplexen Mobilfunknetzen, wie z.B. des zukünftigen UMTS. Dieses soll den überragenden Erfolg des europäischen Mobilfunksystems der 2. Generation - GSM - fortsetzen, welches mit derzeit (Februar 1998) 66 Mio. Teilnehmern und 236 Netzbetreibern in der ganzen Welt das mit Abstand erfolgreichste System ist. UMTS wird eine neue auf CDMA basierende Funkschnittstelle haben, welche die gleichzeitige Übertragung von Sprache, Daten, Text, Bildern, Audio- und Video zwischen zwei oder mehr Teil-

nehmern gleichzeitig ermöglichen wird. Die maximale Datenrate wird dabei 2 Mbit/s betragen. Auf der anderen Seite wird eine Evolution des Festnetzes stattfinden, das, mit Intelligenz ausgestattet, die Mobilität aller Teilnehmer (UMTS-, GSM- und Schnurlostelefonkunden) unterstützt. Wir untersuchen die Auswirkungen des Unterschiedes zwischen GSM



Einfallsrichtungen von Meßsignalen.

Das Bild zeigt die Leistung der einfallenden Wellen aufgelöst über die Einfallsrichtung (azimutal) und die Verzögerung (radial) am Ort der Mobilstation. Die Messungen wurden in der Pariser Innenstadt von France Telecom durchgeführt. Die gezeigten Ergebnisse sind mittels eines am Institut entwickelten Auswerteverfahrens ermittelt worden.

und UMTS (größere Dienstvielfalt, höhere Datenrate, unterschiedliche Terminals) für den Netzaufbau und -betrieb. 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 höchst aktuell. Wir sind daher im Auftrag der PTA tätig, die wesentlichen kosten- und qualitätsbestimmenden Komponenten und Funktionen zukünftiger Mobilfunksysteme festzustellen und zu untersuchen.

Für Datenraten jenseits der 2 Mbit/s wird von der ETSI der HIPERLAN-Standard entwickelt. Dieser bietet auf bis zu fünf Kanälen jeweils 25 Mbit/s in einem verbindungslosen Datagramm-Dienst und kann so als drahtloser Ersatz für moderne Computernetze herangezogen werden. Im Vergleich zu drahtgebundenen Ethernet-LANs bietet er eine größere Bandbreite, mehr Flexibilität, geringere Installationskosten und ein Protokoll, das sowohl auf den Mobilfunkkanal als auch für den Einsatz mit tragbaren Computern maßgeschneidert ist. Wir untersuchen anhand typischer Szenarien, welche Dienstgüte-Parameter diese Systeme erreichen werden und arbeiten an Lösungen, wie solche Systeme optimal an unterschiedliche Anforderungen angepaßt und erweitert werden können. □

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, digital transmission, signal processing, switching technology, RF circuits, radio network planning, coding, and microelectronics.

With our work, we contribute to the Personal Communications System of the future, which will be characterized by telephone numbers belonging to persons, not to places.

Our research results are input to the European research cooperation COST 259 "Wireless Flexible Personalized Communications", where we lead the working group on "Antennas and Propagation". COST 259 is the successor to COST 231 "Evolution of Land Mobile (including Personal) Communications", in which we had also participated. We also participate in the evaluation of the ACTS program.

Since 1985, our institute has offered 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 is read; furthermore, renowned researchers from Sweden, Germany, and Denmark have been guest professors. Graduate and Postgraduate students from Finland, Germany, Portugal, Spain, and Italy have also contributed significantly to our research.

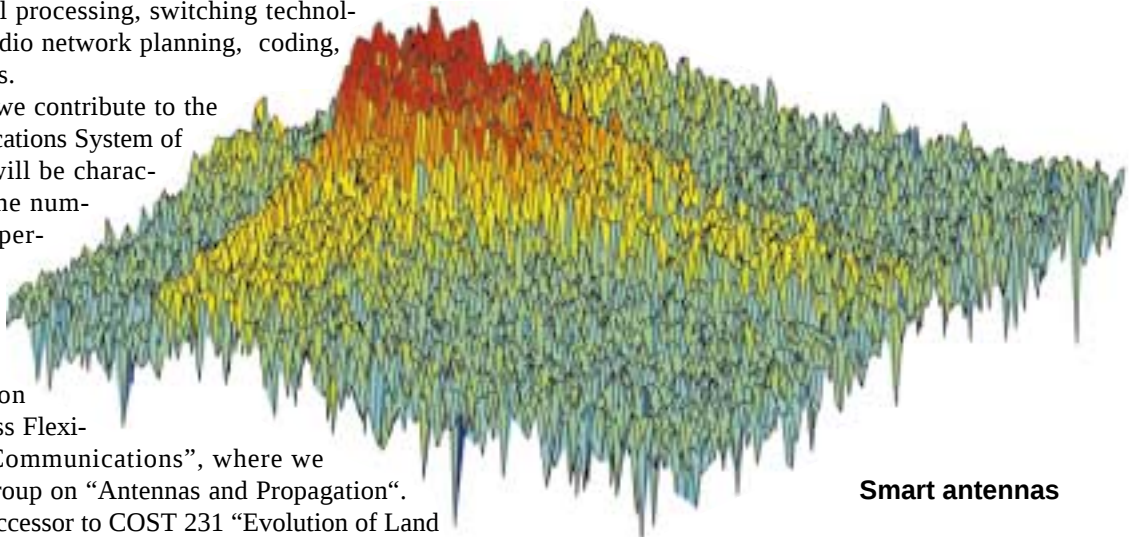
Mobile radio channel

Measurement and modeling of the mobile radio channel is a basic requirement for the design, simulation, and testing of mobile radio systems. Together with companies and network operators from Germany, France, Norway, and Greece, we are working on an EU project for improved measurement methods and standardized channel models. We are concentrating on those aspects that will be the most important for future mobile radio systems: directions-of-arrival, and nonstationarity. For the simulation of intelligent 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. We developed a method to extract these data from measurement campaigns, and applied it to data provided by France Telecom. With this information, we could verify and extend our channel model.

The stationarity of the channel is especially important for quickly moving receivers in densely built-up environments. Finally, we developed a data format for channel sounders that allows a more accurate and uniform storage of measurement data. This will increase the reproducibility and comparability of measurements by different research groups. This work is done in cooperation with the standardization institute

ETSI and should result in a European standard.

For Post and Telecom Austria (PTA), we developed TDISP, a program for the estimation of time dispersion in digital radio networks. This program improves network planning and increases transmission quality.



Smart antennas

Third-generation mobile radio systems, like UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) will use adaptive antenna arrays with digital signal processing (smart antennas). These antennas will increase the capacity of mobile radio systems by reducing the average co-channel interference of neighboring cells, and even allow 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 location in such a way that the main beam points into the direction of the desired signal and interfering signals are suppressed. We are analyzing both "blind" algorithms and algorithms that require a training sequence for signal detection and estimation of direction. Based on our simulations, we are constructing a demonstrator for intelligent antennas, which allows practical analysis of algorithms. In that context, we are also dealing with the calibration of transmitter and receiver.

Our research has resulted in several patent applications, e.g. on methods for the efficient implementation of computer-time-intensive beamforming algorithms. In the area of "intelligent antennas", specialists on digital signal processing are cooperating with experts on RF-hardware, radio wave propagation, antennas, and computer programming.

Bit error probabilities

Measurements and simulations have shown repeatedly that the speech quality in cordless telephones is influenced not only by noise, but also by so-called "irreducible errors" due to the time dispersion of the channel. These irreducible errors, which are comparable to "ghost echoes" in TV, are created by time-delayed echoes. We could give a physical interpretation of these echoes, relating them to peaks in the group delay, and developed closed-form equations for the resulting bit error rates. An adaptive choice of the sampling time, following the actual channel constellations, allows a reduction of the bit error rate.

We applied our theoretical results to DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), the European standard for digital cordless telephones. Cooperating with researchers from England and the USA, we developed cordless receivers that are less sensitive to time dispersion. We have also built up a DECT testbed that allows to measure the performance of such systems under realistic conditions. The testbed was also used successfully for checking industrial prototypes. Currently, smart antennas are added.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) is a modulation format and multiple access scheme that is applied mainly at high data rates, e.g. for wireless LANs (local area networks). By dividing the data stream onto many carriers, problems with the time dispersion are strongly reduced. We deal with the optimization of the pulse shape for signal transmission and an adaptive choice of the sampling time.

Mobile Communications Networks

We developed a stochastic method to model moving users in sophisticated mobile communications networks, for instance UMTS. UMTS will carry on the world-wide success of the European 2nd generation system, GSM, which in February 1998 had 66 million subscribers and 236 operators

worldwide. UMTS will, on the one hand, have a new air interface based on CDMA allowing multimedia communications at a maximum data rate of 2 Mbit/s. On the other hand intelligent services in backbone networks will support the mobility of users with UMTS-, GSM- and cordless phones. We are investigating the differences between GSM and UMTS (more services, higher data rates, different terminals) and its effect on the operation and maintenance of mobile communications systems.

The world-wide growth in digital and cellular mobile communications involve high capital expenditures and raise the question of how one can optimise costs. We are investigating all cost factors of future mobile communications systems as a partner of the PTA.

ETSI is developing the HIPERLAN standard for data rates above 2 Mbit/s. It will offer up to five channels with 25 Mbit/s each for a connectionless traffic and a wireless extension to modern computer networks. Compared to Ethernet-LANs HIPERLAN has the higher bandwidth, greater flexibility, less installation costs and a protocol that is specially designed to meet with the requirements of mobile radio channels and portable computers. We are investigating the quality of service parameters these systems will offer, and how we can adapt and expand them to different environments. □

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

MIKROWELLENTÉCHNIK MICROWAVE ENGINEERING

Der Arbeitsbereich Mikrowellentechnik beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Mikrowellen-Leistungsverstärkern mit hohem Wirkungsgrad. Die Arbeiten werden im Rahmen von Projekten der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA, des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und in Zusammenarbeit mit österreichischen Industriebetrieben durchgeführt.

WIRKUNGS- GRAD

Ein hoher Wirkungsgrad des Endverstärkers in Mobilfunkgeräten ermöglicht kleine Batterien und lange Gesprächszeiten.

Vereinfacht ausgedrückt gibt der Wirkungsgrad eines Verstärkers an, welcher Bruchteil der einer Gleichspannungsversorgung entnommenen Leistung in Mikrowellenleistung umgesetzt wird. Diese Größe ist für viele Anwendungen, insbesondere in der Mobilkommunikation von entscheidender Bedeutung. Der Grundgedanke aller effizienten Verstärker

besteht darin, den Transistor der Endstufe als Schalter zu betreiben: Im geschlossenen Zustand fließt Strom, ohne einen Spannungsabfall zu produzieren, im offenen Zustand steht Spannung am Transistor, es fließt aber kein Strom. In diesem Idealzustand wird keine Verlustleistung erzeugt, der Wirkungsgrad beträgt theoretisch 100%. Dieses Schaltverhalten wird durch äußere Beschaltung des Transistors mit resonanten Strukturen angenähert; herkömmliche, sogenannte Klasse F Verstärker erreichen bei Mikrowellenfrequenzen Wirkungs-

grade von rund 70%. Unsere Arbeitsgruppe entwickelte einen zweistufigen harmonisch kontrollierten Verstärker (HCA), der im Vergleich mit Klasse F Verstärkern einen um bis zu 6dB höheren Gewinn und eine Verbesserung des Wirkungsgrades auf 75% aufweist.

Für Anwendungen mit mehreren Trägerfrequenzen kommt noch die Forderung nach hoher Linearität, d.h. nach möglichst geringen Intermodulationsverzerrungen des Verstärkers hinzu. Diese Eigenschaft eines Verstärkers ist durch die Nichtlinearitäten des verwendeten Transistors bestimmt. Unsere Arbeitsgruppe entwickelte daher einen vollautomatischen Meßplatz zur Modellierung des (nichtlinearen) Großsignalverhaltens von Leistungstransistoren. Auf der Grundlage dieser Transistormodelle konnten wir durch umfangreiche numerische Simulationen den Arbeitspunkt und die Beschaltung der Treiber- und der Endstufe des HCA so optimieren, daß bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad von 60% ein Intermodulationsabstand von 30dB erreicht wurde. Für Signale mit hoher Dynamik, wie sie beispielsweise bei digitalem Hörrundfunk (DAB) auftreten, ist zusätzlich eine dynamische Steuerung des Arbeitspunktes der Endstufe erforderlich. Auch dieses Problem konnte befriedigend gelöst werden.

Die Verstärker werden sowohl in herkömmlicher Technik mit verteilten (Mikrostrip-) Bauelementen als auch als Hybride aufgebaut. Das Ziel ist jedoch die Realisierung einer monolithisch integrierten Schaltung auf GaAs-Basis. □

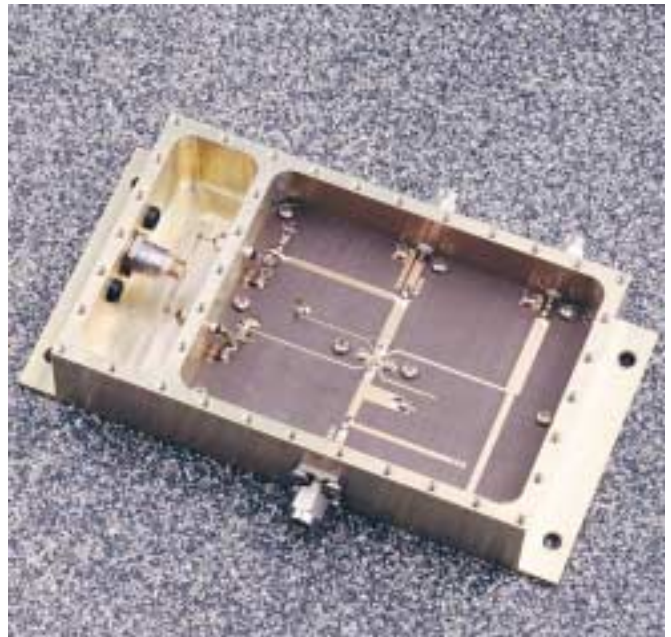
The microwave engineering group concentrates on research and development in the field of high efficiency microwave power amplifiers. Our work is sponsored by the European Space Agency (ESA), by the Austrian Science Foundation, and by Austrian industry companies.

In simple words, efficiency of an amplifier means the fraction of DC power taken from the battery that is converted into microwave power. This characteristic quantity is of paramount importance for many applications, in particular for mobile communications transmitters. The basic principle of all efficient amplifiers is to operate the power stage of the amplifier like a switch: When the (ideal) switch is closed only current flows without producing any voltage drop, and in the open state there exists just a voltage drop without current flowing. Ideally, no losses are produced and efficiency comes to a theoretical maximum of 100%. The desired switching behavior of the power transistor is achieved by adding external resonant circuits; with conventional class-F ampli-



Test der Verstärker auf einem automatischen S-Parameter-Meßplatz.

fiers efficiency of about 70% can be reached at microwave frequencies. Our group developed a two-stage harmonic



Geschalteter Mikrowellenverstärker des Typs hHCA.

control amplifier (HCA) which achieves a 6dB higher gain as compared with a class-F amplifier and an improved efficiency of 75%.

In multiple carrier systems high linearity of the amplifier is required additionally, which results in low intermodulation distortions. Intermodulations are governed by the nonlinearities of the power transistor used. Therefore, our group built a fully automatic measurement setup for the large signal characterization of microwave power transistors. Based on the transistor models we could determine optimum bias and external circuitry for both driver and power stage of our HCA which resulted in an intermodulation distance of 30dB while still achieving a considerably high value of 60% for efficiency. For signals with a high dynamic range as is true for instance in digital audio broadcasting (DAB) systems, a dynamic control of the bias of the power stage is additionally necessary. Also this task could be solved satisfactorily.

The amplifiers are built both in conventional microstrip technology and as hybrid circuits. However, our final goal is the development of a monolithically integrated circuit on a GaAs substrate. □

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

High Tech - Continuing the Success

As a part of the international MOTOROLA organisation High Tech has successfully been operating as a competent supplier of cellular infrastructure systems, both analogue and digital.

Especially the new Base Transceiver Stations (BTS) from MOTOROLA's MCell series guarantee high flexibility and functionality with regard to cost effective installation and expansion of mobile telecommunication networks using the GSM/EGSM900/1800 standards.

Beside excellent products High Tech offers a wide range of innovations and services, such as product and system design, frequency and network planing, system optimisation as well as installation and maintenance of cell sites.

Based on these product and service developments High Tech is the adequate partner for longterm success in national and international telecom projects.

High Tech Logo
CMYK 100/50/0/0

Nachrichtentechnische
Anlagen GmbH

Deutschstraße 4
A-1230 Wien

Tel.: 616 25 12
Fax: 616 29 94
e-mail: benedikr@vienna.ecid.cig.mot.com



The **MCellaccess** Base Station from MOTOROLA lets operators add capacity to high traffic areas, offering higher call quality and encouraging the use of

mobiles in In-Building environments. MCellaccess is a distributed Base Transceiver Station with a Cluster Controller feeding individual RF Units situated in each area needing to be served. Both the macrocellular and the microcellular layer of any infrastructure vendor can be underlaid. MCellaccess RF units are small and lightweight and can be installed by one person in minutes.



The **MCellarena** Base Station from MOTOROLA provides targeted high capacity, high quality coverage in areas of high

subscriber demand and can be combined with other units. While one of the smallest and lightest two-carrier Base Transceiver Stations MCellarena is capable of both indoor and outdoor application and sets new standards in ease of installation and rapid deployment using Motorola's new 'Plug and Go' system. As an optional software feature synthesised frequency hopping is offered with MCellarena.