

INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS  
TU WIEN

DOCUMENTATION  
JANUARY 1 – DECEMBER 31, 2018



## INHALT / CONTENTS

	Seite / Page
Kontaktpersonen / Contacts	3
Mitarbeiter des Instituts / Staff members	5
Sponsoren und Projektpartner / Sponsors and Cooperation Partners	9
Aktuelle Forschungsgebiete: Übersicht / Current Research Areas: Synopsis	12
Ernennungen und Preise / Nominations and Awards	24
Veranstaltungen / Events	24
Vorträge von Gästen / Lectures by Guests	24
Lehrveranstaltungen / Course Program	25
Gastvorträge von Institutsmitgliedern / Guest Talks by Members of the Institute	29
Forschungsprojekte / Research Projects	29
Dissertationen / Doctoral Dissertations	32
Diplom- und Masterarbeiten / Diploma and Master Theses	33
Bücher und Buchbeiträge / Books and Book Chapters	34
Zeitschriftenartikel / Publications in Scientific Journals	34
Editorials in wiss. Zeitschriften / Editorial in Scientific Journals	36
Vorträge und Posterpräsentationen (ohne Tagungsband-Eintrag) / Lectures and poster presentations (without conference proceedings entry)	36
Vorträge und Posterpräsentationen (mit Tagungsband-Eintrag) / Lectures and poster presentations (with conference proceedings entry)	37
Wissenschaftliche Berichte / Scientific Reports	43

Technische Universität Wien

Institute of Telecommunications  
Gusshausstrasse 25/E389

1040 Wien, Austria

Tel.: (43 1) 58801 – ext.

Fax: (+43 1) 58801 – 38999

Email: sekretariat@nt.tuwien.ac.at

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

# KONTAKTPERSONEN / CONTACTS

Nebenstelle / Extension

## Vorstand

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. T. Zseby 38910

## Sekretariat / Secretariat

Fr. A. Engelmaier 38901

Fr. N. Gartner 38954

## Buchhaltung / Accounting

Fr. B. Halzl 38915

Fr. E. Schwab 38937

## IT-Services

Matthias Nitzschke 38830

Ing. Walter Schüttengruber 38964

Ing. Bernhard Wistawel 38924

## Embedded Systems Support

Ing. W. Gartner, MSc 38905

## Hausangelegenheiten, Brandschutz & Arbeitssicherheit

Ing. W. Schüttengruber 38964

## ○ Mobilkommunikation / Mobile Communications

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. M. Rupp 38967

Christian Doppler (CD-)Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung

Dipl.-Ing. Dr.techn. S. Schwarz 38985

## ○ Flexible Funksysteme / Flexible Wireless Systems

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. C. F. Mecklenbräuker 38980

## ○ Multimedia-Systeme / Multimedia Systems

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. N. Görtz 38925

## ○ Communication Networks

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. T. Zseby 38910

## ○ Signalverarbeitung / Signal Processing

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. F. Hlawatsch 38963

## ○ Theorie der Telekommunikation / Communication Theory

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. G. Matz 38916

## SIGNAL PROCESSING

ADAPTIVE FILTERS  
EQUALIZATION  
PREDISTORTION  
TECHNIQUES

STATISTICAL SIGNAL  
PROCESSING  
SIGNAL PROCESSING  
FOR AGENT NETWORKS  
DISTRIBUTED  
SIGNAL PROCESSING

INVERSE PROBLEMS IN  
MODULATION AND CODING

SIGNAL PROCESSING FOR  
COMMUNICATIONS  
SIGNAL PROCESSING FOR  
SENSOR NETWORKS  
BIOMEDICAL SIGNAL  
PROCESSING

## MULTIMEDIA SYSTEMS

CELLULAR SYSTEMS  
MIMO TRANSMISSION  
WIRELESS MULTIMEDIA

CROSS-LAYER DESIGN  
FLEXIBLE SCHEDULING  
MULTIMEDIA SOURCE  
CODING  
JOINT SOURCE-  
CHANNEL CODING

CHANNEL  
CHARACTERIZATION AND  
MODELING  
RADIO RESOURCE  
MANAGEMENT

ROBUST AND RELIABLE  
COMMUNICATIONS

ENTROPY IN IP NETWORKS

PERFORMANCE LIMITS  
TRANSCIVER DESIGN

SPREAD SPECTRUM  
AND CDMA

ADAPTIVE MODULATION AND  
CODING  
MULTI-USER INFORMATION  
THEORY

MIMO SYSTEMS  
MULTICARRIER SYSTEMS  
ITERATIVE RECEIVERS  
INFORMATION THEORY  
COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS  
WIRELESS CHANNELS

## COMMUNICATION THEORY

## COMMUNICATION NETWORKS

NETWORK SECURITY  
SECURITY IN CYBER-  
PHYSICAL SYSTEMS

CELLULAR SYSTEMS  
PERFORMANCE  
MEASUREMENT

VEHICULAR ADHOC  
NETWORKING  
WIRELESS SENSOR NETWORKS  
ULTRA-WIDEBAND  
COMPONENTS AND SYSTEMS

VARIABLE-RATE  
CHANNEL CODING  
MODULATION AND  
CODING FOR COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS

MIMO SYSTEMS  
MULTICARRIER SYSTEMS  
ITERATIVE RECEIVERS  
INFORMATION THEORY  
COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS  
WIRELESS CHANNELS

## FLEXIBLE RADIO AND RF SYSTEMS

VEHICULAR ADHOC  
NETWORKING  
WIRELESS SENSOR NETWORKS  
ULTRA-WIDEBAND  
COMPONENTS AND SYSTEMS

VARIABLE-RATE  
CHANNEL CODING  
MODULATION AND  
CODING FOR COOPERATIVE  
COMMUNICATIONS



**institute of  
telecommunications**

TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Vienna University of Technology



RUPP



ZSEBY



HLAWATSCH



GOISER



MECKLENBRÄUKER



GÖRTZ



MATZ

# **MITARBEITER DES INSTITUTS / STAFF MEMBERS**

Stand: 16.7.2019

## **Professoren:**

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Hlawatsch  
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alois Goiser  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Norbert Görtz  
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Matz  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Christoph Mecklenbräuker  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Rupp  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Tanja Zseby (Institutsvorstand)

## **Dozenten:**

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Schwarz

## **Beamte des wissenschaftlichen Dienstes:**

Dipl.-Ing. Dr.techn. Walter Ehrlich-Schupita

## **Senior Scientists:**

Mag.rer.soc.oec. Dipl.-Ing. Dr.techn. Joachim Fabini  
Dipl.-Ing. Dr.techn. Robert Langwieser  
Dipl.-Ing. Dr.techn. Philipp Svoboda

## **Universitätsassistenten:**

Dipl.-Ing. BSc Ashury Mehdi  
Dott.mag. Maximilian Bachl  
Dipl.-Ing. BSc Stefan Birgmeier  
Dipl.-Ing. BSc Thomas Blazek  
Dipl.-Ing. BSc Thomas Dittrich  
Dipl.-Ing. BSc Herbert Groll  
Dipl.-Ing. BSc Alexander Hartl  
Dr.techn. MSc Felix Iglesias Vazquez  
Dipl.-Ing. Fares Meghdouri  
Dipl.-Ing. BSc Richard Prüller  
Dipl.-Ing. Rene Repp  
Dipl.-Ing. BSc Gernot Dieter Vormayr  
Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Erich Zöchmann

### **Projektassistenten:**

Mag.rer.soc.oec. Dipl.-Ing. Dr.techn. Sebastian Caban

MSc Samira Homayouni (karenziert)

Dipl.-Ing. BSc Thomas Kropfreiter

Univ.Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Walter Leeb

Dipl.-Ing. Martin Lerch

MSc Ljiljana Marijanovic

PhD Jelena Milosevic

Dipl.-Ing. BSc Stefan Pratschner

Dipl.-Ing. BSc Vaclav Raida

Ing. Blanca Ramos Elbal

Artan Salihu

Dipl.-Ing. Dr.techn. Driton Statovci

Dipl.-Ing. Dr.techn. Philipp Svoboda

Dipl.-Ing. BSc Bashar Tahir

### **Kollegiat:**

BSc Richard Prüller

### **Studienassistent:**

BSc David Kaufmann

BSc Zeraliu Erjola

### **Projektmitarbeiter:**

BSc Christian Eliasch

BSc Lukas Eller

BSc Wolfgang Hofer

Kiril Kirev

BSc Gerfried Krainz

Dipl.-Ing BSc Miriam Leopoldseder

Manuel Lobinger

Daniel Amadeus Maierhofer

BSc Armand Nabavi

Kevin Niederwanger

BSc Stefan Pendl

BSc Valentin Platzgummer

BSC Danilo Radovic

Erik Sausa  
BSc Daniel Schützenhöfer  
BSc Sonja Tripkovic  
Mislav Zane

#### **Bedienstete des nichtwissenschaftlichen Dienstes:**

Andrea Engelmaier  
Ing. MSc Wolfgang Gartner  
Brigitte Halzl  
Natalie Hummer  
Matthias Nitzschke  
Eva Schwab  
Ing. Walter Schüttengruber  
Ing. Bernhard Wistawel

#### **Zugeteilt dem Institut:**

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Slavisa Aleksic  
O.Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Ernst Bonek  
Univ.Doiz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinrich Garn  
Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Admela Jukan  
Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Mecklenbräuker  
Univ.Doiz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Molisch  
Privatdoz. Dr. Fabio Ricciato  
Univ.Doiz. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Riegl  
Ao.Univ.Prof.i.R. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Arpad Ludwig Scholtz  
Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harmen R. Van As  
Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Johann Weinrichter  
Univ.Doiz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Winzer  
Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Zemen

#### **Lehrbeauftragte:**

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Kurt Lamedschwandner  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg Neubauer  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Ullrich  
Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Wess

**Weitere Mitarbeiter:**

Ass.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Doblinger

Agnes Fastenbauer

Dipl.-Ing. BSc Davor Frkat

**Im letzten Jahr sind folgende Mitarbeiter ausgeschieden:**

Dipl.-Ing. BSc Fjolla Ademaj

Dipl.-Ing. BSc Robert Annessi

Ing. Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Gerald Artner

Dipl.-Ing. Dr.rer.nat. Peter Berger

Dipl.-Ing. BSc Taulant Berisha

Dipl.-Ing. BSc Stefan Farthofer

Agnes Fastenbauer

MSc Daniel Luis Cavaco Ferreira

Dipl.-Ing. Dr.techn. Sanda Drakulic-Drenjanac

Irene Jorgo

Dipl.-Ing. BSc Michael Meidlinger

Dipl.-Ing. B.Eng. Martin Klaus Müller

BSc Mariam Mussbah

MSc. Shrief Magdy Mahfouz Rizkalla



## **SPONSOREN UND PROJEKTPARTNER / SPONSORS AND COOPERATION PARTNERS**

AIT Austria Institute of Technology GmbH

Alcatel Lucent Austria AG

Antenne „Österreich“ und Medieninnovationen GmbH

Arbeitsgemeinschaft Hochfrequenztechnik

ARRI Cine & Video Geräte Ges.m.b.H.

Austrian Science Fund (FWF)

A1 Telekom Austria AG, Austria

Bertram Menth, staatlich befugter und beedeter Ingenieurkonsulent für Bauingenieurwesen, Wien.

Brno University of Technology, Czech Republic

Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport (BMLV)

CentraleSupélec, Frankreich

Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE), La Spezia, Italy

Christian Doppler Forschungsgesellschaft

COST-Action CA15104 IRACON

Czech Science Foundation (GACR)

Defence Science and Technology Group, Edinburgh, Australia

Department für Raumplanung (TU Wien)

Department of Electrical and Computer Engineering, Stony Brook University / NY, USA

Department of Electrical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland

EMS Solutions GmbH, Wien, Austria

Energie AG Oberösterreich Telekom GmbH

Energie AG Oberösterreich Data GmbH

Energieinstitut Johannes Kepler Universität Linz

FFG – Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft GmbH

FH Salzburg

Fraunhofer Institute for Integrated Circuits (IIS)

Graz University of Technology

Huemer IT Solutions

Hutchison Drei GmbH, Wien, Austria

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe (TU Wien)

Institut für Energietechnik und Thermodynamik (TU Wien)

Institut für Hochbau und Technologie (TU Wien)  
Institut für Informationssysteme (TU Wien)  
Johannes Kepler University, Linz, Austria  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)  
Kathrein-Werke KG, Germany  
KNG-Kärnten  
Laboratory for Information and Decision Systems, Massachusetts Institute of Technology (MIT),  
Cambridge, MA, USA  
LINZ STROM GmbH  
MOOSMOAR Energies OG  
New Jersey Institute of Technology, USA  
Nokia Solutions and Networks, Ulm, Deutschland  
Numerical Harmonic Analysis Group (NuHAG), Universität Wien  
NXP Semiconductors Austria GmbH  
Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)  
Politecnico di Torino, Italien  
RUAG Space GmbH  
SBA Research GmbH  
Schöberl & Pöll GmbH  
Siemens AG Österreich  
SIMULA  
Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia  
Sprecher Automation GmbH  
Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau)  
Technische Universität München, Deutschland  
Technologieplattform Smart Grids Austria  
Thuringian Centre of Innovation in Mobility (ThlMo)  
TINETZ Stromnetz Tirol AG  
Universität Klagenfurt – Forschungsgruppe Systemsicherheit  
University of California San Diego (UCSD), San Diego, USA  
University of Edinburgh, Großbritannien  
University of Prishtina, Kosovo  
Universidad Polytécnica de Valencia, Spain  
University of Southern California (USC), Los Angeles, USA  
VASKO+Partner  
Wiener Stadtwerke Holding AG  
Wiener Wissenschafts- . Forschungs- und Technologiefonds (WWTF)

Ziviltechniker für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH  
ZTE Austria GmbH, Wien, Austria

# AKTUELLE FORSCHUNGSGEBIETE: ÜBERSICHT / CURRENT RESEARCH AREAS: SYNOPSIS

## Mobilkommunikation

Der Fokus der Forschung auf diesem Gebiet liegt für uns im Bereich der mobilen zellularen Netze. Hier werden die folgenden fünf Schwerpunkte behandelt: Messung und Simulation von Funkübertragungstrecken der fünften Generation (5G) speziell im Bereich sogenannter Millimeterwellen und Full-Dimension MIMO Systeme, Entwicklung und Verbesserung von Sende/Empfangs Signalverarbeitungsalgorithmen, Simulation und Optimierung dichter heterogener Mobilfunknetze, Analyse und Modellierung des paketvermittelten Verkehrs und schichtübergreifende Optimierung von Diensten in Mobilfunknetzen.

Ein signifikanter Teil der Forschung im Bereich Mobilkommunikation findet im Zuge des Christian Doppler (CD-)Labors für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung statt. Gemeinsam mit unseren Unternehmenspartnern A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG und Nokia Solutions and Networks, haben wir es uns in diesem CD-Labor zum Ziel gesetzt einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Mobilfunktechnologien der 5. Generation und darüber hinaus zu leisten, wobei unser Fokus auf Szenarien mit sich (potentiell schnell) bewegenden (menschlichen und maschinellen) Benutzern liegt (Autos, Züge aber auch Fußgänger und Radfahrer). Hierbei liegen unsere Schwerpunkte auf drei Forschungsmodulen, die wir jeweils gemeinsam mit einem Unternehmenspartner behandeln: 1) In Modul 1 widmen wir uns gemeinsam mit Nokia Solutions and Networks, einem Weltmarktführer im Bereich Kommunikationsnetze, der Verbesserung der Physikalischen Schicht für schnell bewegte Benutzer. Kernthemen dieses Moduls sind neuartige Vielträger Modulationsverfahren und massive Mehrfachantennensysteme. Unsere Forschung zielt dabei vor allem auf die Optimierung der Ressourceneffizienz und Robustheit dieser Technologien im Bereich hoher Mobilität ab. 2) In Modul 2 untersuchen wir gemeinsam mit A1 Telekom Austria AG, dem führenden österreichischen Mobilfunkanbieter, innovativen Technologien die das Potential haben den Mobilfunk entscheidend voran zu bringen. Speziell liegt unser Fokus in diesem Modul auf der drahtlosen Kommunikation im Millimeterwellen Bereich (ungefähr 30 – 300 GHz) und auf der Erweiterung des zellularen Mobilfunks durch selbstständige/netzgesteuerte Ad-Hoc Kommunikation zwischen Geräten. Mobilfunk im Millimeterwellen Bereich bietet zahllose Herausforderungen, hat jedoch auch äußerst großes Potential, da dort viel ungenützte Bandbreite zur Verfügung steht, die signifikante Steigerungen der Netzkapazität von Mobilfunknetzen verspricht. Unser Interesse gilt zunächst der messtechnischen Charakterisierung von Funkübertragungstrecken bei 60 GHz und im weiteren Zuge der Entwicklung effizienter Sende-Empfänger. Das Thema Ad-Hoc Kommunikation ist für uns speziell im Bereich der Kommunikation zwischen Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr von Interesse, wie zum Beispiel, zur Realisierung von Stau/Unfall-Frühwarnsystemen (Road Safety) und zur Bereitstellung von Internet für Logistik und Multimedia Applikationen in Autos, Zügen, U-Bahnen, Straßenbahnen, etc. Die Kombination aus Mobilfunk und Ad-Hoc Kommunikation verspricht dabei eine deutliche Steigerung der Zuverlässigkeit und Effizienz der Datenübertragung. 3) In Modul 3 behandeln wir gemeinsam mit Kathrein Werke KG, einem Weltmarktführer im Bereich Kommunikationstechnologien, das Themengebiet Netzverdichtung durch heterogene Netzstrukturen und verteilte Antennensysteme. Die Verdichtung der Netzstrukturen wird allgemein als wichtigster Faktor zur Realisierung der zukünftig benötigten Netzkapazitäten gesehen. Mit zunehmender Anzahl an Basisstationen in Mobilfunknetzen (small cells) und verteilten Antennensystemen rückt auch die Koordination verschiedener Netzknoten zur Verminderung der Interferenz in den Fokus der Forschung. Einen wichtigen Aspekt hierbei stellt die akkurate Modellierung der Interferenz in solchen heterogenen Netzen dar, um basierend darauf effizient große Mobilfunknetze mathematisch abbilden und optimieren zu können. Hierfür setzen wir Methoden der sogenannten stochastischen Geometrie ein. Um dichte

Netzstrukturen untersuchen und angepasste Methoden dafür entwickeln zu können, werden unsere vorhandenen Up- und Downlink LTE/LTE-Advanced Link- und System-Level Simulatoren ständig entsprechend erweitert. Diese Simulatoren stehen frei zur akademischen Nutzung auf der Instituts-Webseite zum Download bereit und zählen zu den erfolgreichsten Simulatoren dieser Art weltweit (>50.000 Downloads). Die Simulatoren werden auch auf kommerzieller Basis vertrieben und von zahlreichen 3GPP Firmen eingesetzt. Derzeit befinden sich auch neue 5G Link- und System-Level Simulatoren in unserer Gruppe in Entwicklung, die eine zentrale Rolle in unsere Forschung in allen drei CD-Labor Modulen spielen werden. Die erste Version des 5G Link-Level Simulators wird bereits seit Herbst 2017 online für akademische Partner zum Download bereitgestellt, der 5G System-Level Simulator wird im ersten Quartal 2018 folgen.

In geförderten Forschungsprojekten mit dem Industriepartner, A1 Telekom Austria AG haben wir an der Entwicklung und Verfeinerung von Analysemethoden und Modellen für Verkehrsströme in Netzen der fünften Generation gearbeitet. Im BRIDGE Projekt Mc.HypaMiner werden die Performancedaten von verteilten Messungen ausgewertet und zusammengeführt mit netzinternen Datenquellen. Das aktuelle Forschungsthema orientiert sich an der Frage wie man ein reaktives Netzwerk mit nicht intrusiven Methoden zuverlässig vermessen kann. Dies ist eine große Herausforderung da Messungen auf unabhängigen und nicht überwachten Endgeräten stattfinden sollen. Das Ziel ist es, basierend auf diesen Informationen Modelle zu erstellen, um das Netz und die Daten detailgetreu zu simulieren und analytisch in Echtzeit zu optimieren. Dieses Konzept wird nun auch im EU Projekt MONROE auf verteilte Systeme in der ganzen EU erweitert.

Die Omnipräsenz von Internetdiensten spiegelt sich auch in der neuen Mobilität der Benutzer. In diesem Kontext hat es auch weiterhin eine Zusammenarbeit mit der ÖBB gegeben, mit dem Ziel noch mehr Kunden ein perfektes mobiles Serviceerlebnis in Zügen zukommen zu lassen.

Im Zuge der Entwicklung von immer neuen Diensten haben sich die Anforderungen an die Qualität von Netzwerken geändert. Im diesem Jahr konnte die bestehende Kooperation mit A1 weitergeführt werden und um neue Themen erweitert werden. Ziel der Forschungstätigkeiten ist es, die Leistungsfähigkeit von Internetzugängen im Allgemeinen in einem globalen operatorweiten Kontext erfassbar zu machen. Das spezielle Augenmerk liegt hierbei auf mobilen Zugängen der Technologien UMTS und LTE, sowie stationären Zugängen in der Technologie ADSL. Die Herausforderung ist die aktuelle gesellschaftliche Entwicklung welche zu einem verstärkten Einsatz von mobilen Technologien als Internetanschluss führt. Diese Änderung im Benutzerverhalten macht es dem Operator unmöglich bestehende Lösungen zur Sicherung der Servicequalität weiter zu verwenden. Mit Hilfe der in der Forschungsgruppe aufgebauten Kompetenzen sollen Lösungen gefunden werden, den Verkehr auch in Zukunft zuverlässig optimieren zu können.

Die Spezialausbildung in der Mobilkommunikation, zu der verschiedene Bereiche des Instituts beitragen, zieht Studenten der ganzen Welt an. Internationale Kontakte werden schon während des Master Studiums geknüpft: in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der TU München bieten wir ein gemeinsames internationales Mobilfunkseminar an und in Zusammenarbeit mit den Technischen Universitäten Bratislava und Brno halten wir ein Seminar in Bratislava, Brno und Wien gemeinsam ab.

## **Mobile Communications**

In the broad field of mobile communications our group focuses on four major topics within the scope of next generation mobile cellular networks: link layer measurements and simulations of fourth and fifth generation mobile communications (4G/5G), simulation and optimization of heterogeneous cellular networks, traffic analysis and simulation at the IP layer and cross layer optimizations.

A significant part of our research in the field of mobile communications is financed by the Christian Doppler (CD-)Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion. Together with our corporate partners A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG and Nokia Solutions and Networks, we set our objective within this CD-Lab on significantly contributing to the development of fifth generation and beyond mobile communications technologies, with focus on scenarios with (potentially fast) moving (human and machine-type) users (cars, trains, but also pedestrians and cyclists). Our work is partitioned into the following three research modules: 1) In research module 1, we investigate together with Nokia Solutions and Networks, a world market leader for communication networks, possible strategies for enhancing the physical layer of mobile network technologies, especially for high-mobility users. Core topics of this research module are novel multicarrier modulation schemes and massive multiple-input multiple-output technologies. We are targeting an enhancement of the resource efficiency as well as the robustness of such technologies for high-mobility scenarios. 2) In research module 2 we examine together with our partners from A1 Telekom Austria AG, the leading Austrian mobile network operator, innovative technologies that have the potential to substantially advance mobile communications. Specifically, our focus is on wireless communications in the millimeter wave domain (approximately 30 to 300 GHz) and on the extension of cellular mobile networks by autonomous or network controlled ad-hoc communication between devices. Mobile communications in the millimeter wave domain faces countless challenges, but it also has significant potential since a vast amount of untapped spectrum is available in that regime, promising corresponding enhancements in mobile network capacities. Our interest is initially focusing on the measurement based evaluation of wireless communications at 60 GHz and, based on these results, on developing efficient transceiver architectures and algorithms. Wireless ad-hoc communications is for us of special interest in the context of vehicular communications and wireless communications in public transport. In these areas, wireless communication is for instance required for intelligent transport systems and road safety applications, but also for providing online multimedia applications in cars, trains, trams and metros. A smart combination of cellular mobile communications and ad-hoc networks promises significant dependability and efficiency gains of such wireless connections. 3) In research module 3, we investigate together with Kathrein Werke KG, a global market leader for communication technologies, the subject area of network densification through heterogeneous network architectures and distributed antenna systems. Such network densification is generally considered as central enabler for providing the network capacities required in future mobile networks. With an increasing number of base stations in mobile networks (small cells) as well as distributed antenna systems, a coordinated operation of different network nodes becomes increasingly important, to control and mitigate the interference between such nodes. An important aspect to enable efficient and realistic mathematical representation of dense heterogeneous networks, is accurate modeling of interference amongst network nodes, for which we utilize so called stochastic geometry methods. To enable computer based investigation of dense heterogeneous networks and to facilitate the evaluation of coordination methods developed for such networks, we rely on our existing up- and downlink link- and system-level standard-compliant LTE/LTE-A simulators. These simulators are publicly available for academic users to download on our webpage. The free simulators are highly popular within the scientific community (>50.000 downloads) and are also commercially available. The latter are in usage by a large number of 3GPP companies. We are currently also developing and implementing link- and system-level simulators for 5G networks, which build the basis for the research work conducted in all three research modules. The first release of the 5G link-level simulator is already available for download since autumn 2017 to our academic partners; the 5G system-level simulator will follow suit within the first quarter of 2018.

In an FFG funded research cooperation with our industry partner A1 Telekom Austria AG we are developing and refining analytical methods and models for traffic flows in 5G networks. In this BRIDGE project Mc.HypaMiner performance benchmarks will be migrated from central coordi-

nated measurements to crowdsourced distributed events at the end terminal of the users. The current research challenge is the integration of non-intrusive benchmark measurements for reactive networks. The ultimate goal is a distributed setup to analyse, measure and simulate operational mobile networks.

The concept of minimal intrusive probing to characterize mobile networks has been put to an European level by the FaliCap Project in the H2020 framework as a tender to the MONROE project. In this project we will deploy the algorithms resulting from our previous research into mobile nodes all over Europe.

Internet usage for nomadic customers is becoming a central element for planning in mobile networks. In this context, we continued the cooperation with the Austrian Federal Railways (OEBB). We currently work towards identifying room for improvements for mobile coverage in high-speed trains. In this context we are also further developing our performance measurement algorithms towards ultra-fast probing to allow tests in motion.

The development of new services has changed the requirements for the quality monitoring of networks. In this year, we continued our cooperation action with A1 in this area. The aim of the research is to focus the development of Internet access in an operator-wide context. The focus is given to mobile access technologies, UMTS and LTE, and the first time in this cooperation the ADSL technology. The challenge is the current social development, which leads to an increased use of mobile networks as the last mile. This strong increase in volume generated at the customer side is a challenge for the quality of service system of existing solutions. With the help of this research we develop method to measure and characterize the traffic flows as well as optimizing their resource consumptions.

The dedicated course plan in mobile communications attracts students from all over the world. International socializing is an activity already in the master program: together with ETH Zurich and TU Munich we offer an International Seminar on Mobile Communications. Furthermore, in cooperation with the Technical Universities of Bratislava and Brno, we conduct a seminar series in Bratislava, Brno, and Vienna, as part of the Mobile Communications Seminar lecture.

## Flexible Funksysteme

Die heutigen Funktechnologien der vierten Generation erlauben bereits eine effiziente Übertragung und Verbreitung von digitalen Inhalten: Das Internet ist mobil geworden und erlaubt heute die Generierung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und Manipulation von Information. Die nächste technische Herausforderung besteht in der Erweiterung des (mobilen) Internets zur *Produktion*, zum *Transport*, zur *Verteilung*, *Lagerung* und *Manipulation* von materiellen Objekten („Internet der Dinge“). Funktechnologien müssen hierzu äußerst *verlässlich* („dependable“) arbeiten. Dies erfordert wesentliche Verbesserungen hinsichtlich Verfügbarkeit und Übertragungslatenz, garantierter Datendurchsatz, sowie Energieeffizienz und Kostenstruktur. Wir befassen uns daher mit Funktechnologien für 5G, insbesondere im Zentimeter- und Millimeterwellenbereich, sowie verlässlichen Übertragungsverfahren für hochmobile Teilnehmer, deren Verhalten bei hoher Netzlast, sowie energieeffizienter Nachrichtenübertragung.

Die Verwendung von MIMO Übertragungsverfahren mittels Antennengruppen ist der kommerzielle Stand der Technik im Mobilfunk. Deutliche Verbesserungen gegenüber UMTS wurden bereits in 4G erreicht hinsichtlich spektraler Effizienz durch dynamische Ressourcenallokation unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslast, MIMO Verfahren mit Vorkodierung und Antennenmultiplex. Strahlformung und *massive* MIMO Übertragungsverfahren sind die Basis für 5G-Technologien. Während September 2018 haben wir die Energieflussdichte gemessen von einer prototypischen 4G LTE Basestation bei 2,6 GHz im Zeitduplexbetrieb, die mit massive MIMO Technologie ausgestattet war (64 Antennenelemente).

Im Zusammenhang mit dem jüngsten Aufschwung an peer-to-peer und ad-hoc Netzen erlebt auch die direkte Funkkommunikation zwischen mobilen Teilnehmern eine Renaissance, insbesondere hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Kommunikation von Fahrzeugen untereinander (mittels ETSI ITS G5 und IEEE 802.11p) für zukünftige aktive Sicherheitssysteme. Kooperative Systeme sind im Straßenverkehr ein wichtiges Forschungsfeld geworden. Darüber hinaus eröffnet die funkbasierte Vernetzung von Sensoren und Messgeräten eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder im Telematikbereich: *Intelligent Transport, Smart Metering, Intelligent Production, u.v.m.*

Hauptaugenmerk intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Verkehrstelematik liegt momentan bei Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Effizienz. Aufgrund des limitierten Frequenzspektrums ist es notwendig, dass lizenzierte Frequenzbänder spektral effizienter genutzt werden, um bei gleichbleibender Dienstgüte das gesamte Spektrum möglichst gut auszuschöpfen. Wesentliche Effizienzsteigerungen erwarten wir uns durch den Einsatz dynamischer Ressourcen-Zuteilungsverfahren, die die aktuelle Lastsituation, Kanalprädiktion sowie Übertragungsverzögerungen berücksichtigen. Hier sehen wir einen nahtlosen Übergang von 3GPP Long Term Evolution Advanced (LTE-A) zu heterogenen 5G Funknetzen mit Hilfe von software-defined radio (SDR) Konzepten.

Großes Potential an Einsparung von Ressourcen, die ein Kommunikationssystem in Anspruch nimmt, wird durch den Einsatz nichtlinearer Detektionsverfahren erreicht. Die Nichtlinearität wird an die Störzusammensetzung angepasst, so dass die Störung diskriminiert und die Information weitgehend unberührt gelassen wird. Solche Kommunikationssysteme werden als störungstolerante Kommunikationssysteme bezeichnet.

Eine Familie von Funksystemen zeichnet sich durch extreme Breitbandigkeit bei gleichzeitig niedriger spektraler Leistungsdichte aus. Diese ultrabreitbandigen Übertragungsverfahren ermöglichen eine energieeffiziente Kommunikation zwischen elektronischen Sensoren und Aktuatoren über kurze Reichweiten in Gebäuden und stören existierende schmalbandige Systeme nur wenig. Hier steht weniger die spektrale Effizienz, als vielmehr die Leistungseffizienz der Übertragungsverfahren im Vordergrund und sie ermöglichen drahtlose Sensorik und robuste eingebettete Systeme, die weder eine Batterie noch eine externe Antenne erfordern. Wir erforschen puls-basierte UWB-Übertragung für leistungseffiziente Funkschnittstellen im Nahbereich mittels integrierter Antennen am integrierten Schaltkreis zur Lokalisierung und Datenübertragung. Dies ermöglicht eine verlässliche Assoziation von Daten mit materiellen Objekten: Ein Schlüssel für das Internet der Dinge.

## **Flexible Wireless Systems**

Present 4G wireless systems enable efficient transmission and distribution of digital content: The Internet has arrived in the mobile domain and allows the generation, transmission, distribution, storage, and manipulation of information. The next technical challenge is the extension of the mobile Internet to production, transportation, distribution, storage, and manipulation of objects (“internet of things”). Wireless technologies need to become dependable. This requires major improvements in availability (coverage) and transmission latency, packet delivery guarantees, guaranteed data rates, as well as energy efficiency and cost structure. Therefore, we investigate 5G transmission techniques, notably in the centimeter and millimeter wave bands, dependable connectivity for highly mobile users, their behavior at high network load, as well as energy efficient data transmission.

The use of MIMO transmission using antenna array technology has become the commercial state of the art in mobile communications. Major improvements compared to UMTS have been achieved in 4G networks in terms of spectral efficiency by dynamic resource allocation which takes into account the current system load, advanced precoding techniques, and spatial multiplexing. Beamforming and massive MIMO-transmission will be the core of 5G technologies. In September 2018, we have measured average energy flux densities from a prototypical 4G LTE base station at 2,6



GHz in TDD mode employing massive MIMO technology using 64 antenna elements at the base station.

Direct radio communication between mobile entities enjoys a renaissance in connection with the recent interest in peer-to-peer and ad-hoc networks. This is especially true for safety-related vehicle-to-vehicle communication (ETSI ITS G5 and IEEE 802.11p) to enable advanced active safety. Traffic telematics applications are currently under intense research and development for making transportation safer, more efficient, and cleaner. Co-operative systems have become an important field of research in the area of telematics. Wireless networking of sensors and instrumentation enables new application fields: Intelligent Transport, Smart Metering, Intelligent Production, etc. We investigate dynamic resource allocation schemes which employ channel prediction, take into account the current system load, as well as transmission latency. Here, we see a seamless transition from 3GPP Long Term Evolution Advanced (LTE-A) towards 5G heterogeneous wireless networks based on software-defined radio (SDR) concepts.

Nonlinear detection techniques offer resource efficient solutions in communication systems. The nonlinearity is adapted to the interference scenario, such that the interference is discriminated whereas the information of interest is detected largely unperturbed. Such communication systems are interference resilient.

One family of wireless systems features extreme bandwidths and low power spectral densities. These ultra-wideband (UWB) transmission techniques enable energy efficient communication among electronic sensors and actuators over short ranges in buildings. They cause little interference to existing small bandwidth systems. Here, the spectral efficiency is of less importance than the power efficiency of the transmission scheme in short-range links. Key applications will be low-power sensor networks and robust embedded systems which require neither batteries, nor external antennas. We are exploring UWB impulse-radio techniques experimentally with integrated on-chip antennas for power-efficient short-range wireless communication, sensing, and localization. Thus, UWB technology provides a dependable association of data with objects: A key to the Internet of Things.

## Multimedia Systems

Research in this field is about **multimedia signal processing for big data** and **coding for multimedia transmission**. On the signal-processing side, the work particularly involves advanced methods for big data such as compressed sensing, iterative recovery algorithms and sparse model selection -- a variety of machine learning -- with applications, e.g., in image processing and communications. For multimedia transmission, topics include multiuser information theory and flexible and powerful channel codes that can be decoded efficiently.

### *Compressed Sensing (CS):*

Compressed sensing is about (re-)sampling (digital) signals at a sampling rate far below the classical sampling theorem; perfect (or at least very high quality) recovery is still possible, with suitable structure (such as „sparsity“) in the signal. In practical applications (such as MRI scanners) the vector dimension of the signals can be very large (100000 and more), so extremely efficient recovery algorithms are crucial as well as good dictionaries to perform the sampling process, which is in fact a multiplication with a measurement matrix (the dictionary). Work items include fast recovery of very high-dimensional signals with different types of „structure“ (including „sparsity“ and „density“) by iterative algorithms, in particular the application of approximate message passing (AMP) to problems in image processing but also in communications. An example is the detection of radio-frequency identification tags: the classical problem of „collisions“ is re-interpreted as a compressed sensing measurement, and the application of AMP allows to detect a sparse selection of RFID tags from a huge list that in fact forms the compressed sensing measurement matrix.

### Machine Learning:

While CS exploits sparsity to actively compress the observed signals, one can also use the raw data directly for extracting the inherent (sparse) structure to obtain a sparse model for the observed data. This can be cast as an (unsupervised) machine learning problem based on unlabeled data. Work is focused on two specific machine learning methods:

*Dictionary Learning:* the idea is to represent the observed signals as sparse linear combinations of a single underlying dictionary. Thus, a sort of analog sparse source coding is performed, with the dictionary representing the source code. The problem is that the underlying dictionary is unknown and has to be determined based on the data.

*Sparse Graphical Models:* A popular way of representing complex systems with a large number of components (nodes) and complicated interactions between them are graphical models. If we assume that the observed data are realizations of a random vector with a fixed probability distribution, the problem of graphical model selection is to determine the underlying graphical model.

### Coding:

Error-correction channel coding has a key role in digital communication systems. Due to delay constraints of the applications, codes with small-to-medium block size are of particular interest. A special problem, which is very important in practice, is the realisation of a flexible “adjustable” code rate, as time-variant fading channels necessarily require adaptive modulation and coding. We investigate Low-Density Parity-Check (LDPC) codes specifically constructed for those situations. A key problem of code design is to avoid short cycles in the code graph in order to allow for better decoding results. On the one hand we investigate code designs that avoid short cycles by construction, on the other hand we have introduced a transformation-based representation of quasi-cyclic LDPC codes that allows for a simple cycle analysis that can be used in numerical code design. We also consider extensions of those techniques to design codes with adjustable code rate.

Beyond the conceptual side of research in algorithms, we also work on implementing channel encoders and decoder by programmable hardware (FPGA, Field-Programmable Gate Arrays). The goal is a highly efficient realisation of practically relevant LDPC channel encoders and decoders in order to investigate their performance at very low bit-error rates and to compare measurements with analytical results.

## **Christian Doppler Labor „Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung“**

Das Christian Doppler Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung beschäftigt sich mit grundlegenden Forschungsfragen der drahtlosen Kommunikation, die speziell im Bereich großer Nutzerdichten mit sowohl statischen als auch bewegten Benutzern (wie zum Beispiel im städtischen Bereich) auftreten. Ziel des Labors ist es, die Netzkapazität und den Datendurchsatz für solch dichte Szenarien signifikant zu verbessern und gleichzeitig auch eine zuverlässige Kommunikation selbst bei hoher Mobilität zu gewährleisten. Dementsprechend liegt das Hauptaugenmerk des Labors auf Fragen der Verfügbarkeit, Latenzzeit, Ausfallsicherheit und Effizienz der drahtlosen Kommunikation. Mobilfunktechnologien der fünften Generation bilden dabei die Grundlage des Forschungslabors. Um die Vision des Labors zu realisieren, bedarf es neuartiger Funktechnologien sowohl auf Link- als auch auf System-Ebene. Auf Link-Ebene versprechen neue Mehrträger-Modulationsverfahren verbesserte Anpassungsfähigkeit der Übertragung an die Eigenschaften des Übertragungskanals und die Erfordernisse der Benutzer. Des Weiteren versprechen Trägerfrequenzen im Millimeter-Wellen Bereich (mmWave) und der Einsatz großer Antennen-Arrays eine signifikante Erhöhung der Netzkapazität. Ziel des Labors ist es diese

Versprechen zu realisieren, in dem einerseits Messkampagnen durchgeführt werden, um den Übertragungskanal grundlegend zu charakterisieren, und andererseits, basierend auf diesen Ergebnissen, Sende-Empfangsmethoden zu entwickeln, um eine effiziente und zuverlässige Datenübertragung zu gewährleisten. Auf System-Ebene liegt der Fokus des Labors auf der Verdichtung heterogener Netzstrukturen und der Kombination von Mobilfunk mit Ad-Hoc Funktechnologien, um durch dynamische und adaptive Koordination der Medium Access Control (MAC) Schicht und der Netzschicht die Verfügbarkeit und Effizienz des Mobilfunknetzes zu maximieren.

Das Christian Doppler Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung hat seine Arbeit im Jänner 2016 mit drei Forschungsmodulen aufgenommen. Jedes dieser Forschungsmodule ist mit einem der drei Unternehmenspartner assoziiert. In Modul 1 werden gemeinsam mit Nokia Solutions and Networks neue Mehrträger-Modulationsverfahren entwickelt und der Einsatz von großen Antennen-Arrays in Mobilfunknetzen untersucht. In Modul 2 liegt der Forschungsschwerpunkt der gemeinsamen Entwicklungen mit A1 Telekom Austria AG sowohl auf der Ausnützung der großen verfügbaren Bandbreite im Millimeter-Wellen Bereich, als auch auf der Kombination von Mobilfunk mit Ad-Hoc Funktechnologien, speziell im Kontext der sogenannten Vehicular Communications. In Forschungsmodul 3 werden mit dem Unternehmenspartner Kathrein Werke-KG Funktechnologien auf System-Ebene untersucht, sowohl im Hinblick auf Verdichtung heterogener Netzstrukturen durch Einsatz verteilter Antennensysteme und sog. small cell Basis-Stationen, als auch durch Verwendung von großen Antennen-Arrays auf Makro Basis-Stationen um Benutzer im städtischen Bereich innerhalb und außerhalb von Gebäuden effizient und zuverlässig zu versorgen.

### **Christian Doppler Lab „ Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion “**

The Christian Doppler Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion addresses fundamental research questions arising from large numbers of static and mobile wireless users especially within urban agglomerations. The research focus is not only on enhancing mobile network capacity and best-effort high data rate services, but equally on dependable (reliability- and delay-critical) data transmissions. Under these circumstances we focus on questions relating to efficiency, reliability, latency and availability of wireless communications. The scope of the laboratory is on enhancing candidate 5G link and system level technologies to realize our vision of a connected Society in Motion through combined heterogeneous cellular and ad-hoc wireless networks, employing novel PHY waveforms, carrier frequencies in the millimeter wave (mmWave) band and full-dimension multiple input multiple output (FD-MIMO) multi-antenna concepts, as well as dynamic coordination of the medium access control (MAC) and the network layer. Our research work involves basic measurement-based wireless channel characterization in the mmWave band to acquire an understanding of channel fading behavior.

The Christian Doppler Laboratory for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion started its work in January 2016 with three work modules. Each of the modules is associated to one of the three industrial partners Nokia Solutions and Networks (Module 1), A1 Telekom Austria AG (Module 2) and Kathrein-Werke KG (Module 3). The focus of Research Module 1 is on PHY enhancements, specifically on novel multicarrier modulation schemes that support flexible partitioning and allocation of the available time-frequency resources, and on FD-MIMO/massive MIMO systems that utilize large-scale two-dimensional antenna arrays for three-dimensional beamforming. The focus of Research Module 2 is on wireless communication technologies that are new to cellular mobile networks and that potentially require rethinking of network deployment and network access management. Specifically, we consider wireless transmission in the mmWave band, which is per se not particularly well-suited to mobile communications in terms of propagation characteristics, as well as, cellular assisted vehicular communications. In Research Module 3, the focus of our research work is on system level based evaluation of urban

heterogeneous networks (HetNets) containing indoor and outdoor small cells, as well as FD-MIMO based macro base stations to serve users inside and outside buildings.

## **Signalverarbeitung**

Die statistische Signalverarbeitung in drahtlosen Sensornetzen bildet einen wesentlichen Schwerpunkt unserer Arbeiten. Ein Beispiel ist die Detektion von Fahrzeugen und die Schätzung ihrer Positionen und Geschwindigkeiten. Wir bevorzugen einen verteilten (dezentralen, kooperativen) Ansatz, der ohne eine zentrale Verarbeitungseinheit oder Kommunikation zwischen weit entfernten Sensoreinheiten auskommt. Aktuelle Forschungsergebnisse sind verteilte “message passing” Methoden zur kooperativen gleichzeitigen Sensor-Selbstlokalisierung und Objektverfolgung sowie zur kooperativen gleichzeitigen Sensor-Selbstlokalisierung und Synchronisierung. Weiters entwickelten wir eine verteilte Methode zur Verfolgung eines Objekts, das im Beobachtungsgebiet wiederholt erscheinen und verschwinden kann.

Eine aktuelle Forschungsrichtung ist die Verfolgung mehrerer Objekte basierend auf den Messwerten mehrerer Sensoren und unter Verwendung von “belief propagation message passing” und der Theorie endlicher Zufallsmengen. Wir entwickelten eine Methode für den praktisch relevanten Fall, dass die Anzahl der Objekte und die Zuordnung der Messwerte zu den Objekten unbekannt sind. Diese Methode erfordert selbst bei einer großen Anzahl von Objekten und Sensoren einen geringen Rechenaufwand.

In unseren Forschungsarbeiten im Bereich der Informationstheorie betrachteten wir die Kompression (verlustbehaftete Quellenkodierung) von Daten für den Fall, dass die nützliche Information durch eine Menge beschrieben wird, d.h. die Reihenfolge der Daten ist unerheblich und die Anzahl der Daten ist a priori unbekannt. Wir entwickelten eine Rate-Distortion-Theorie für endliche Zufallsmengen (oder Punktprozesse), welche die grundlegenden Grenzen der Kompression endlicher Zufallsmengen beschreibt. Wir definierten grundlegende informationstheoretische Konzepte und Größen für endliche Zufallsmengen und entwickelten untere und obere Schranken für die Rate-Distortion-Funktion.

Methoden der Signalverarbeitung sind eine wesentliche Komponente mehrerer weiterer Forschungsgebiete. Ergänzende Beschreibungen von Forschungsaktivitäten im Bereich der Signalverarbeitung finden sich in den Abschnitten Mobilkommunikation, Theorie der Telekommunikation, Flexible Funkssysteme und Multimediasysteme.

## **Signal Processing**

A major focus of our work is on statistical signal processing in wireless sensor networks. An example is the task of detecting vehicles and estimating their locations and velocities. We emphasize a fully distributed (decentralized, cooperative) approach that does not require a central processing unit or communication between distant sensor units. Our recent results include a distributed message passing method for cooperative simultaneous sensor self-localization and object tracking and a distributed message passing method for cooperative simultaneous sensor self-localization and synchronization. We also developed a distributed object tracking method for an object that may repeatedly appear and disappear in the surveillance area.

Another direction of our research is the use of belief propagation message passing and random finite set techniques for multi-object tracking based on multiple sensors. We developed a multi-object tracking method for the practically relevant case where the number of objects and the association between measurements and objects are unknown. The method has a low computational complexity even for a large number of objects and sensors.

In our work in the area of information theory, we considered the compression (lossy source coding) of data for the case where the useful information is contained in a set, i.e., the ordering of the data points is irrelevant and the number of data points is a priori unknown. We developed a rate-distortion theory for random finite sets (or finite point processes), which characterizes the fundamental limits of compression of random finite sets. We introduced fundamental information-theoretic concepts and quantities for random finite sets and developed lower and upper bounds on the rate-distortion function.

Signal processing methods are an essential part of several other research areas. For complementary signal processing research, see the sections Mobile Communications, Communication Theory, Flexible Wireless Systems, and Multimedia Systems.

## Theorie der Telekommunikation

Schwerpunkt unserer Arbeiten sind drahtlose Kommunikations- und Sensornetze sowie Methoden der Signalverarbeitung für Big Data.

Wir forschten zum Entwurf von Empfängern unter Berücksichtigung der verwendeten digitalen Hardware. Dabei untersuchten wir in Zusammenarbeit mit der *Universidad Politécnica de Valencia* (Spanien) Verfahren zur Kompression der Empfangssignale in digitalen Fernsehsystemen. Unsere Methode beruht auf (hinsichtlich Transinformation optimaler) ungleichförmiger Quantisierung der *log-likelihood ratios* und führte zu einer Reduktion der notwendigen Speichergröße um bis zu 60%. Weiters erforschten wir gemeinsam mit der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL, Schweiz) effiziente Methoden zur Dekodierung von *low-density parity check* (LDPC) Codes. Dabei entwickelten wir quantisierte *message-passing* Algorithmen, welche den Informationsfluss im Code-Graphen maximieren und sich besonders gut in Hardware realisieren lassen. Tatsächlich führte eine Synthese des Decoders für 10GigabitEthernet in 28nm CMOS-Technologie zum weltweit schnellsten Durchsatz von mehr als 500 Gigabit pro Sekunde bei einer Chipfläche von ca. 20mm<sup>2</sup>.

Moderne Übertragungssysteme (z.B. der Mobilfunkstandard *LTE Advanced*) verwenden immer häufiger Rückkanäle zur Verbesserung der Verbindungsqualität. Für derartige Kommunikationssysteme mit Feedback untersuchten wir die maximal erzielbaren Übertragungsraten für den Fall, dass das Feedbacksignal komprimiert ist (wie es in der Praxis immer der Fall ist). Es gelang uns zu zeigen, dass lineare Codierung hier im Gegensatz zu verrauschtem Feedback nichtverschwindende Übertragungsraten erzielt. Eine Erweiterung dieser Ergebnisse auf Mehrbenutzersysteme führte zur Entwicklung von Superposition-Codes, welche eine Adaption an die Qualität der Feedbacksignale ermöglichen und dadurch die Übertragungsrate maximieren. Das dabei auftretende Problem der besten Ressourcenverteilung konnten wir mithilfe von Algorithmen zur konvex-konkaven Optimierung lösen.

In Kooperation mit der *CentraleSupélec* (Frankreich) führten wir mehrere grundlegende informationstheoretische Arbeiten durch, welche in Sensornetzanwendungen aber auch im Bereich maschinelles Lernen für Big Data relevant sind. Zum einen untersuchten wir das Problem der verteilten Codierung mit dem Ziel, mehrere Quellen optimal zu komprimieren während die wechselseitige Information zwischen den Quellen möglichst gut erhalten bleibt. Dieses Problem hat praktische Anwendungen für das *Biclustering* von großen Datensätzen. Außerdem betrachteten wir das verwandte abstrakte Problem, maximal informative binäre Funktionen zu bestimmen, welche bei 1-Bit-Kompression von zwei binären Quellen den gegenseitigen Informationsgehalt so gut wie möglich erhalten.

Auf dem jungen Gebiet der Graphsignalverarbeitung haben wir Verfahren entwickelt, die es erlauben, fehlende Datenpunkte in abgetasteten Graphsignalen zu rekonstruieren. Als Gütekriterium für die Glattheit des Signals verwendeten wir dabei die durch den zugrundeliegenden Graphen induzierte Totalvariation. Dies führte zu nichtdifferenzierbaren Minimierungsproblemen, welche

wir mittels moderner Methoden der konvexen Optimierung lösten. Die resultierenden Algorithmen zeichnen sich durch hohe Recheneffizienz und schnelle Konvergenz aus. Um eine praktische Anwendung auf Big-Data-Datensätze zu ermöglichen, entwickelten wir zudem verteilte Implementierungen dieser Algorithmen, welche nur geringen Datenaustausch zwischen den Rechnerknoten erfordern. Anhand eines Datensatzes mit Amazon-Produkten und –Bewertungen konnten wir die hervorragende Leistungsfähigkeit unserer Methode demonstrieren. Weiters erforschten wir mathematische Grundlagen der Abtastung und Rekonstruktion von Daten in unterschiedlichen Signorräumen in Zusammenarbeit mit der *Numerical Harmonic Analysis Group* der Universität Wien. Zuletzt haben wir uns vermehrt mit dem Problem des Lernens der Struktur eines Graphen anhand großer, möglicherweise unvollständiger und fehlerbehafteter, Datensätze beschäftigt. Wir formulierten diese Aufgabe als konvexes Optimierungsproblem und schlugen vor, es mit modernen Verfahren wie dem ADMM-Algorithmus zu lösen, die auch für große Datensätze geeignet sind. Die Leistungsfähigkeit unserer Methoden wurde an echten Daten—unter anderem aus der Bildverarbeitung—getestet.

## Communication Theory

The focus of our research is on wireless communication and sensor networks and on signal processing for Big Data.

We performed research on the design of receivers that account for constraints in the underlying digital hardware. Together with *Universidad Politécnica de Valencia* (Spain) we investigated methods for the compression of receive signals in digital television systems. Our method builds on non-uniform quantization of log-likelihood ratios such that mutual information is maximized and led to a reduction in memory requirements by up to 60%. In cooperation with *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL, Switzerland) we explored efficient decoder architectures for low-density parity check (LDPC) codes. More specifically, we devised quantized message passing algorithms that maximize the information flow in the code graph and particularly well suited for hardware realization. The synthesis of a decoder for 10GigabitEthernet in 28nm CMOS technology led to a record-breaking throughput of more than 500 Gigabit per second at 20mm<sup>2</sup> chip area.

Modern communication systems (e.g., the mobile radio standard *LTE Advanced*) more and more rely on feedback channels to improve link quality. For this type of transmission with feedback we analyzed the maximum achievable information rates for the case where the feedback is quantized (as is always the case in practice due to rate limitations). We managed to show that contrary to noisy feedback linear encoding achieves non-vanishing rates. An extension of these results to multi-user systems led to the development of superposition codes, which enable an adaptation to the quality of the feedback signal and thereby maximize the transmission rate. We could solve the associated problem of determining the best resource allocation via algorithms for convex-concave optimization.

In cooperation with *CentraleSupélec* (France) we carried out fundamental information theoretic work, which is relevant in sensor network applications and in machine learning for big data. On the one hand we examined distributed coding problems with the aim of maximally compressing multiple sources while preserving the mutual information between the sources as good as possible. This problem has a practical application in bi-clustering for large datasets. We further considered the abstract problem of finding maximally informative binary functions, which maximally preserve the mutual information between two sources under 1-bit compression.

In the young field of graph signal processing we developed methods for the reconstruction of missing data points in sampled graphed signals. As a metric for the smoothness of the graph signal we used the total variation induced by the underlying graph. This led to non-smooth minimization problems, which we solved using modern methods of convex optimization. The resulting algorithms are computationally efficient and feature fast convergence. To enable practical applications

to massive datasets, we further developed distributed implementations of these algorithms, which require little communication overhead between the computing nodes. We could verify the excellent performance of our scheme using a real-world dataset of Amazon products and ratings. In cooperation with the *Numerical Harmonic Analysis Group* at the *University of Vienna* we further investigated the mathematical foundations of sampling and reconstruction of data in distinct signal spaces. Recently, we focused on the problem of learning the structure of a graph from huge but possibly incomplete and noisy data sets. We formulated this problem as a convex optimization problem and we proposed to solve this problem using modern algorithms like ADMM that are suited for large-scale data. We tested the performance of our method on real data, e.g. from image processing.

## **Communication Networks Group**

The main research areas of the communication networks (CN) group at the Institute of Telecommunications (TC) are network security and secure communication in Cyber-Physical Systems (CPSs). The group is especially active in the field of reactive security measures, with focus on network supervision and anomaly detection methods. For Cyber-Physical Systems protection the group works on secure communication solutions for smart grid environments and Cyber-Physical production systems.

### Network Security

The protection of communication networks against new and unexpected attacks remains a challenging task. Attacks become more sophisticated. New vulnerabilities emerge every day. Proactive solutions often fail if new attack strategies are used or undetected vulnerabilities are exploited. Therefore, network supervision methods are essential to establish situational awareness in communication networks. They help to detect anomalies in communication patterns and provide the first step for the detection of new attack types.

The communication networks group works on network supervision and network protection methods, anomaly detection techniques and mitigation strategies.

### Secure Communication in Cyber-Physical Systems

Cyber-physical systems (CPS) interconnect real world physical systems with computational components in cyberspace. Cyber-physical systems provide the basis for many critical infrastructures (such as smart power grids) and are therefore tempting targets for all kinds of attackers. As a consequence, communication networks for cyber-physical systems have high security demands. Interfering with supervision and control functions in cyberspace can influence real world physical systems, which can lead to the damage of physical devices, malfunction of critical processes and endangerment of human lives.

The Communication Networks group works on methods to protect and supervise communication networks for Cyber-Physical Systems. The group focuses on secure communication methods for smart grid environments and Cyber-Physical production systems. The group works on IPv4 and IPv6 based communication in smart grids for smart metering and wide area monitoring systems (WAMS).

## **ERNENNUNGEN UND PREISE / NOMINATIONS AND AWARDS**

Norbert Görtz: Ernennung zum Mitglied im ITG Fachausschuss 5.1: Informations- und Systemtheorie der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG) des VDE in Deutschland, 2018.

Christoph Mecklenbräuer: IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Technical Committee, Vice-Chair 1.1.2017 – 31.12.2018.

Franz Hlawatsch: EURASIP Fellow “For contributions to time-frequency signal processing and statistical signal processing”.

## **VERANSTALTUNGEN / EVENTS**

Second Annual Open Day and Workshop of the CD-Lab for Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion, 15.11.2018; Organizers: Stefan Schwarz, Markus Rupp, Veranstalter: CD-Lab, ITC, TU Wien.

Informationstechnisches Kolloquium: Auf dem Weg zu 5G, Die fünfte Generation des Mobilfunks, 15. Mai 2018, Organizers: Christoph Mecklenbräuer, Helmut Malleck, Thomas Zemen, Veranstalter: OVE, TU Wien, AIT.

Co-organization of the special session „Bayesian Modeling and Inference for Localization and Tracking“ within the 20<sup>th</sup> IEEE Statistical Signal Processing Workshop (IEEE SSP-18), Freiburg, Germany, June 2018.

Challenges and Solutions towards Smart Rail Mobility at mmWave and Thz Bands, Institute of Telecommunications, E389 Seminarraum 2 (CG0402) Vienna, 16.05.2018.

“Correlated Equilibria in Satisfaction Games”, Prof. Langford B. White, University of Adelaide, Institute of Telecommunications, E389 Seminarraum1 (CG0118), Vienna, 12.10.2018.

## **VORTRÄGE VON GÄSTEN / LECTURES BY GUESTS**

Prof. John B. Anderson, Lund University Sweden: “Narrow Bandwidth Coding”, 10.2018.

Marco Di Renzo: “Stochastic Geometry Modeling and Optimization of Cellular Networks – Bridging Accuracy and Complexity”, 16.11.2018.

Prof. Dr. Ke Guan, Beijing Jiaotong University China: “Challenges and Solutions towards Smart Rail Mobility at mmWave and THz Bands”, 16.05.2018.

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle, TU München: “Measurements of High-Performance Packet Processing Systems”, 20.04.2018.



# LEHRVERANSTALTUNGEN / COURSE PROGRAM

Im Studienjahr 2018

## 1. PFLICHTLEHRVERANSTALTUNGEN / MANDATORY COURSES

			WS	SS
Zseby	Communication Networks 1	VO	3.0	----
Fabini, Vormayer	Communications Networks 2	VU	----	3.0
Görtz, Goiser, Hlawatsch, Mecklenbräuker, Matz, Rupp, Zseby, Svoboda	Datenkommunikation	VO	----	2.0
Hlawatsch, Repp Raida	Digital Communications 1	VU	----	3.0
Hlawatsch, Repp	Digital Communications 2	VU	3.0	----
Görtz, Birgmeier	Signale und Systeme 2	VU	----	3.0
Rupp, Pratschner, Tahir	Signal Processing 1	VU	3.0	----
Matz, Dittrich	Signal Processing 2	VU	3.0	----
Goiser, Schwarz	Telekommunikation	VU	----	3.5
Mecklenbräuker, Groll	Wellenausbreitung	VU	3.0	----
Mecklenbräuker, Rupp, Blazek, Zöchmann	Wireless Communications 1	VU	----	4.0
Görtz, Birgmeier	Wireless Communications 2	VO	----	2.0

## 2. WAHLLLEHRVERANSTALTUNGEN / OPTIONAL COURSES

			WS	SS
Rupp, Schwarz	5 <sup>th</sup> Generation Wireless Technologies	VO	----	2.0

Rupp, Svoboda	Advanced Wireless Communications 1	VO	2.0	----
Goiser	Advanced Wireless Communications 2	VO	2.0	----
Mecklenbräuker, Zemen	Advanced Wireless Communications 3	VO	2.0	----
Mecklenbräuker Langwieser, Ehrlich-Schupita, Scholtz	Antennenentwurf und – aufbau	PR	----	2.0
Matz	Ausgewählte Kapitel der Übertragungst. und Informationsverarbeitung	SE	1.5	1.5
Görtz, Rupp, Goiser, Hlawatsch, Mecklenbräuker, Scholtz, Matz, Zseby	Bachelorarbeit mit Seminar	PR	10.0	10.0
Langwieser	Baugruppen von Funkgeräten	SE	----	3.0
Zseby	Communication Networks Seminar	SE	----	2.0
Langwieser, Pichler	Computer Aided RF Circuit Design	PR	3.0	----
Rupp	DSP Seminar	SE	1.0	----
Görtz, Matz	Digital Communications Seminar	SE	3.0	----
Matz	Drahtlose Mehrträgersysteme	VO	2.0	----
ProfessorInnen und AssistentInnen	EDV-Orientierte Projektarbeit	AG	4.0	4.0
Goiser	Einführung in die Telekommunikation	VU	----	3.0
Garn, Ehrlich-Schupita,, Lamedschwandner, Neubauer	Fachvertiefung - Elektromagnetische Felder und Wellen	VU	----	4.0

Wess	Fachvertiefung – Signale und Systeme	VU	4.0	----
Görtz, Mecklenbräuker	Fachvertiefung – Telekommunikation	VU	----	4.0
Mecklenbräuker, Artner	Funkweitverkehrstechnik	VO	1.5	----
Matz	Graphische Modelle in der Signalverarb. und Übertragungstechnik	VO	----	2.0
Hlawatsch	Information theory for communications engineers	VO	2.0	----
Rupp, Schwarz, Görtz	Internationales Seminar Mobile Kommunikation	SE	----	3.0
Rupp	Introduction to Machine Learning with Applications	VU	3.0	----
Matz, Rizkalla Mecklenbräuker	Konvexe Optimierung für die Signalverarb. und Übertragungstechnik	VO	----	2.0
Goiser, Blazek	Lab Wireless Communications	LU	----	2.0
Gartner	Labor Grundlagen der FPGA Programmierung mit VHDL	LU	----	2.0
Matz, Mecklenbräuker	MIMO Communications	VO	2.0	----
Zseby, Iglesias, Bachl	Network Security	VO	----	2.0
Zseby, Iglesias	Network Security – Advanced Topics	VU	2.0	----
Hlawatsch	Parameter Estimation Methods	VO	----	2.0
Langwieser	Praktische Realisierung von Hochfrequenzschaltungen	PR	----	3.0

Görtz	Projektarbeit (Übergangsregelung B.-Arbeit)	PA	2.0	2.0
Görtz	Quellencodierung (Source Coding)	VO	2.0	----
Ullrich	Radar- und Lidartechnik	VO	----	1.5
Ullrich	Radartechnik	VO	----	1.5
Hlawatsch, Rupp, Matz	Research Projects in Advanced Signal Processing	SE	3.0	3.0
Goiser	Robuste und verlässliche Kommunikationssysteme	VU	2.0	---
Rupp, Mecklenbräuker, Svoboda	Seminar Wireless Communications	SE		3.0
Matz	Signal Detection	VO	----	2.0
Hlawatsch, Kropfreiter	Signal Processing Seminar	SE	----	3.0
Görtz, Musa, Birgmeier	Signal Processing for Big Data	SE	----	2.0
Mecklenbräuker	Telekommunikationsforum ITC Forum	KO	2.0	2.0
Mecklenbräuker	Telekommunikationsforum 5G Internet der Dinge	KO	2.0	----
Mecklenbräuker Langwieser	Zentimeter und Millimeterwellen	PR	----	2.0

## GASTVORTRÄGE VON INSTITUTSMITGLIEDERN / GUEST TALKS BY MEMBERS OF THE INSTITUTE

Ernst Bonek: „Angst vor Elektrosmog macht krank“; Vortrag: VHS Meidling, Wien 15.03.2018.

Norbert Görtz: „Compressed Sensing and the Single-Pixel Camera“; Vortrag: Institut für Photonik, TU Wien, 01.2018.

Christoph Mecklenbräuer: „Direction of Arrival Estimation using Dual LASSO with Reed-Solomon Error Evaluation Algorithms“, joint work with Shrief Rizkalla and Ralf R. Müller, Talk: ETH Zürich, Switzerland, 25. Mai 2018.

Markus Rupp: „Dramatic Changes Call for new Wireless Strategies“; eingeladener Seminarvortrag, Sofia, Bulgarien, 05.2018.

Markus Rupp: „Dramatic Changes Call for new Wireless Strategies“; eingeladener Seminarvortrag, A Coruna University, Spanien, 09.2018.

Stefan Schwarz: „Research on 5G and Beyond at TU Wien“; Talk: OVE IT Kolloquium – Auf dem Weg zu 5G, Wien, 15.05.2018.

## FORSCHUNGSPROJEKTE / RESEARCH PROJECTS

### SIGNALVERARBEITUNG / SIGNAL PROCESSING

Random Finite Set Methods for Network-Based Bayesian Estimation (FWF Grant P 27370-N30)

*Contact:* F. Hlawatsch      *Partner:*      *Duration:* 01.2015 – 06.2019

Sequential Bayesian Estimation of Arterial Wall Motion (GACR Grant 17-19638S)

*Contact:* F. Hlawatsch      *Partner:*      *Duration:* 01.2017 – 12.2019

### MOBILKOMMUNIKATION / MOBILE COMMUNICATIONS

COST – Aktion IC15104 „Inclusive Radio Communication Networks for 5 G and beyond (IRACON), Im Rahmen des Forschungsprogramms “Horizons 2020“

*Contact:* C. Mecklenbräuer      *Duration:* 2016 – 12.2019

MAR2018MMIMO

*Contact:* M. Rupp      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 11.2017 – 12.2018

MAR2018NTT

*Contact:* M. Rupp      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 11.2017 – 12.2018

MAR2019-FDD

*Contact:* M. Rupp      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 11.2018 – 12.2019

MAR2019-INF

*Contact:* M. Rupp      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 10.2018 – 12.2019

FaliCap (EU H2020 Part of MONROE)  
*Contact:* P. Svoboda      *Partner:* SIMULA      *Duration:* 03.2017 – 09.2018

A1 PFN  
*Contact:* P. Svoboda      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 11.2017 – 12.2018

ZugRep  
*Contact:* P. Svoboda      *Partner:* OEBB TS GmbH      *Duration:* 11.2017 – 07.2018

CD-Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung  
*Contact:* S. Schwarz      *Partner:* A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke KG,  
Nokia Solutions and Networks      *Duration:* 01.2016 – 12.2020

## THEORIE DER TELEKOMMUNIKATION / COMMUNICATION THEORY

Co3-iGraB - Communication and Complexity Constrained Inference over Graphs for Big Data  
(WWTF Grant ICT15-119)

*Contact:* G. Matz      *Partners:* Technion, Israel; University of Edinburgh, UK  
*Duration:* 12.2015 – 11.2019

UNFOLD - Unleashing Finite-alphabet Implementations of LDPC Decoders (WWTF Grant  
NXT17-013)

*Contact:* G. Matz      *Partner:* École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
*Duration:* 08.2017 – 03.2018

## FLEXIBLE FUNKSYSTEME / FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS

Arbeitsgemeinschaft Hochfrequenztechnik  
*Contact:* Robert Langwieser, C. Mecklenbräuker      *Duration:* 2013 – 2019

FM Radio  
*Contact:* R. Langwieser      *Partner:* Antenne "Österreich" und Medieninnovationen GmbH  
*Duration:* 11.2017 - 02.2018

Copper Optical Network Evolution (CONE)  
*Contact:* C. Mecklenbräuker      *Partner:* A1 Telekom Austria AG, Nokia Solutions and Networks  
Österreich GmbH, FFG Förderprogramm: BRIDGE  
*Duration:* 09.2016 – 08.2019

Fixed Access Research 2018 (FAR2018)  
*Contact:* C. Mecklenbräuker      *Partner:* A1 Telekom Austria AG      *Duration:* 01.2018 – 12.2019

V2I and V2V communications for human society (VC4HS)  
*Contact:* C. Mecklenbräuker      *Partner:* University of Prishtina, Kosovo, Förderprogramm: Higher  
Education Research and Applied Science  
*Duration:* 11.2017 – 10.2018

ARRI Wireless Videolink 2017 (ARRI2017)

Contact: C. Mecklenbräuker Partner: ARRI Cine & Video Geräte GmbH

Duration: 11.2017 – 09.2018

Road to 5G

Contact: C. Mecklenbräuker Partner: ZTE Austria GmbH, Hutchison Drei Austria GmbH,

FFG Basisprogramm

Duration: 06.2018 – 09.2018

Spray1

Contact: R. Langwieser

Partner: RUAG Space GmbH

Duration: 06.2018 –

## COMMUNICATIONS NETWORKS

BigDAMA - Big Data Analytics for Network Traffic Monitoring and Analysis (WWTF Project ICT15-129)

Contact: T. Zseby

Partner: AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Politecnico di Torino

Duration: 03.2016 – 02.2019

synERGY – Security for Cyber-Physical Value Networks Exploiting Smart Grid Systems (FFG IKT der Zukunft)

Contact: T. Zseby

Partner: AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Huemer IT Solutions, Universität Klagenfurt – Forschungsgr. Systemsicherheit, MOOSMOAR Energies OG, Energie AG Oberösterreich Telekom GmbH, LINZ STROM GmbH, Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport.

Duration: 01.2017 – 06.2019

FUSE - Future Self-Organizing Energy Networks (TU Wien)

Contact: T. Zseby

Partner: Institute of Energy Systems and Electrical Drives (TU Wien)

Duration: 12.2015 – 11.2019

## DISSERTATIONEN / DOCTORAL DISSERTATIONS: (eigene und begutachtete)

G. Babazadeh Eslamlou

“Smooth Graph Signal Processing: Recovery and Sampling Schemes“; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): N. Görtz, F. Pernkopf, G. Matz; E389, 2018; Rigorosum: 26.02.2018.

C. Backfrieder

“Traffic Efficiency Optimization Through V2X Communications“; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): M. Mecklenbräuker, A. Springer, G. Emberger; E389, 2018; Rigorosum: 12.03.2018.

P. Eder-Neuhauser

“Malware Communication and Containment in Critical Infrastructure Networks“; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): W. Gawlik, G. Carle, T. Zseby; E389, 2018; Rigorosum: 20.04.2018.

Y. Guo

“Enhancing Frequency Stability of Islanded Microgrids via Load Step Pre-announcement and Bang-Band Controller“; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): W. Gawlik, R. Schmaranz, T. Zseby; E370, 2018; Rigorosum: 19.12.2018.

- O. Huber “Dielectric Material Characterization for Inhomogeneous Transmission Lines up to 110 GHz”; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): G. Magerl, C. Mecklenbräuker, A. Springer; E354, 2018; Rigorosum: 04.09.2018.
- M. Meidlinger “Information-optimal Decoding and Demodulation on Sparse Graphs”; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): G. Matz, A. Burg, N. Görtz; E389, 2018; Rigorosum: 28.02.2018.
- M. Müller “System Level Investigations for Mobile and Indoor Users in Future Cellular Networks”; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): M. Rupp, L. Castedo, M. di Renzo; E389, 2018; Rigorosum: 27.07.2018.
- S. Rizkalla “Design of Non-glavanic HF RFID Cards by Non-linear Optimization and its Experimental Verification”; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): C. Mecklenbräuker, A. Wittneben, K. Witrisal; E389, 2018; Rigorosum: 11.12.2018.

## **DIPLOM- und MASTER-ARBEITEN / DIPLOMA and MASTER THESES (eigene und betreute):**

- S. Abbasi “Efficient Iterative Reconstruction of Sampled Graph Signals”; Betreuer/in(nen): N. Görtz; E389, 2018, Abschlussprüfung: 15.06.2018.
- J. Camas Jordi “LTE-Advanced cell-specific reference signals in dependence of power allocation”; Betreuer/in(nen): J. Rodriguez Fonollosa, M. Rupp, S. Schwarz; Universitat Politechnica de Catalunya, 2018; Abschlussprüfung: 10.07.2018.
- T. Dittrich “Spectral Clustering with Sampling: A Graph Signal Processing Perspective”; Betreuer/in(nen): G. Matz, P. Berger; E389, 2018; Abschlussprüfung: 15.06.2018.
- S. Gharapet “Focused Single Pixel Imaging”; Betreuer/in(nen): N. Görtz, E389, 2018; Abschlussprüfung: 26.11.2018.
- A. Hartl “Subliminal Channels in high-speed Signatures”; Betreuer/in(nen): T. Zseby, R. Annessi; E389, 2018; Abschlussprüfung: 15.06.2018.
- S. Hashkil “Performance Analysis of Algorithms for Quantized Compressed Sensing”; Betreuer/in(nen): N. Görtz, O. Musa; E389, 2018; Abschlussprüfung: 08.03.2018.
- W. Holt “Sparse Superposition Codes for the Gaussian Channel”; Betreuer/in(nen): N. Görtz, O. Musa; E389, 2018; Abschlussprüfung: 15.06.2018.
- O. Mahmoud „Mehrbenutzerkanäle mit quantisiertem Rückkanal und endlicher Blocklänge“; Betreuer/in(nen): G. Matz, S. Farthofer; E389, 2018; Abschlussprüfung: 08.03.2018.



- F. Meghdouri “Comparison of Feature Sets of Detecting Attacks in Network Traffic”; Betreuer/in(nen): T. Zseby, Felix Vazquez; E389, 2018; Abschlussprüfung: 25.07.2018.
- R. Santos “Real-time Emulation of Vehicular Non-stationary Channels”; Betreuer/in(nen): T. Blazek, C. Mecklenbräuker, L. Correia; E389, 2018; Abschlussprüfung: 08.05.2018.
- P. Taupe “3D Video RBD Detektion“; Betreuer/in(nen): H. Garn, E389, 2018, Abschlussprüfung: 03.10.2018.
- A. Tawfik “Compressed Sensing for Graph Signals”; Betreuer/in(nen): N. Görtz; E389, 2018; Abschlussprüfung: 08.03.2018.
- O. Trindade “Supporting high quality cellular and Internet services inside railway vehicles: a statistical evaluation of wireless repeater performance on Railjet and Cityjet trains”; Betreuer/in(nen): L. C. Kretly, C. Mecklenbräuker; University of Campinas (UNICAMP), Brasil, 2018; Abschlussprüfung: 18.05.2018.

## **BÜCHER UND BUCHBEITRÄGE / BOOKS AND BOOK CHAPTERS**

- P. Hans, G. Artner, J. Grames, H. Krebs, H. Mansouri Khosravi, R. Rouhi (Hrg.): “Proceedings VSS 2018 – Vienna young Scientists Symposium”; Book of Abstracts, Dipl.-Ing. Heinz A. Krebs, 2352 Gumpoldskirchen, 2018, ISBN: 978-3-9504017-8-3, 136 S.
- R. Nissel, M. Rupp: “Filter Bank Multicarrier Modulation“; in: „Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond“, M. Vaezi, Z. Ding, H. Poor (Hrg.); Springer, 2018, ISBN: 978-3-319-92089-4, S. 63 – 92.
- A.H. Sayed, P. Djuric, F. Hlawatsch: “Distributed Kalman and Particle Filtering“; in: “Cooperative and Graph Signal Processing: Principles and Applications“, P. Djuric, C. Richard (Hrg.); Academic Press / Elsevier, London, UK, 2018, (eingeladen), ISBN: 9780128136775, S. 169 – 207.

## **ZEITSCHRIFTENARTIKEL / PUBLICATIONS IN SCIENTIFIC JOURNALS**

- G. Artner, W. Kottermann, G. Del Galdo, M. Hein: “Conformal Automotive Roof-Top Antenna Cavity with Increased Coverage to Vulnerable Road Users“; IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 17 (2018), 12; S. 2399 – 2403.
- G. Artner, E. Zöchmann, S. Pratschner, M. Lerch, M. Rupp, C. Mecklenbräuker: “Angle-dependent reflectivity of twill-weave carbon fibre reinforced polymer for millimetre waves“; Electronics Letters, 54 (2018), 6; S. 359 – 361.
- B. Berger, K. Gröchenig, G. Matz: “Sampling and Reconstruction in Distinct Subspaces Using Oblique Projections“; Journal of Fourier Analysis and Applications, 1 (2018), S. 1 – 33.

- T. Blazek, C. Mecklenbräuker: “Measurement-Based Burst-Error Performance Modeling for Cooperative Intelligent Transport Systems”; *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, PP (2018), 99; S. 1 – 10.
- T. Blazek, E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker: “Milimeter Wave Vehicular Channel Emulation: A Framework for Balancing Complexity and Accuracy”; *Sensors*, 2018 (2018), S. 1 – 21.
- S. Drakulic, M. Wolkerstorfer, D. Statovci: “Coexistence in fourth generation digital subscriber lines: Experiment, modeling and simulation results”; *Physical Communication*, 28 (2018), 28; S. 154 -165.
- E. Eiben, R. Ganian, J. Laurila: “On the Complexity of Rainbow Coloring Problems”; *Discrete Applied Mathematics*, 246 (2018), S. 38 – 48.
- M. Fereydooni, M. Sabaei, M. Dehghan, G. Babazadeh Eslamlou, M. Rupp: “Analytical Evaluation of Heterogeneous Cellular Networks under Flexible user Association and Frequency Reuse”; *Computer Communications*, 116 (2018), S. 147 – 158.
- M. Fereydooni, M. Sabaei, M. Dehghan, M. Taranetz, M. Rupp: “A Mathematical Framework to Evaluate Flexible Outdoor user Association in urban Two-Tier Cellular Networks”; *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 3 (2018), 17; S. 1559 – 1573.
- G. Ghiaasi, T. Blazek, M. Ashury, R. Santos, C. Mecklenbräuker: “Real-Time Emulation of Nonstationary Channels in Safety-Relevant Vehicular Scenarios”; *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018 (2018), S. 1 – 11.
- M. Haardt, C. Mecklenbräuker, P. Willett: “Highlights from the Sensor Array and Multichannel Technical Committee”; *IEEE Signal Processing Magazine* (eingeladen), 35 (2018), 5; S. 183 – 185.
- G. Hannak, A. Perelli, N. Görtz, G. Matz, M. E. Davies: “Performance Analysis of Approximate Message Passing for Distributed Compressed Sensing”; *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 12 (2018), 5; S. 857 – 870.
- A. Hartl, R. Annessi, T. Zseby: “Subliminal Channels in High-Speed Signatures”; *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing and Dependable Applications (JoWUA)*, 9 (2018), 1; S. 30 – 53.
- F. Iglesias Vazquez, J. Milosevic, T. Zseby: “Fuzzy classification boundaries against adversarial network attacks”; *Fuzzy Sets and Systems*, (\*) (2018); S. (\*).
- G. Koliander, D. Schuhmacher, F. Hlawatsch: “Rate-distortion theory of finite point processes”; *IEEE Transactions on Information Theory*, 64 (2018), 8; S. 5832 – 5861.
- M. Lindorfer, C. Mecklenbräuker, G. Ostermayer: “Modeling the Imperfect Driver: Incorporation Human Factors in a Microscopic Traffic Model”; *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19 (2018), 9; S. 2856 – 2870.
- M. Meghdouri, T. Zseby, F. Iglesias Vazquez: “Analysis of Lightweight Feature Vectors for Attack Detection in Network Traffic”; *Applied Sciences*, 8 (2018), 11; 16 S.
- F. Meyer, B. Eitzlinger, Z. Liu, F. Hlawatsch, M.Z. Win: “A Scalable Algorithm for Network Localization and Synchronization”; *IEEE Internet of Things Journal*, 5 (2018), 6; S. 4714 – 4727.
- F. Meyer, T. Kropfreiter, J. Williams, R. Lau, F. Hlawatsch, P. Braca, M.Z. Win: “Message Passing Algorithms for Scalable Multitarget Tracking”; *Proceedings of the IEEE*, 106 (2018), 2; S. 221 – 259.
- M. Müller, F. Ademaj, T. Dittrich, A. Fastenbauer, B. Ramos Elbal, A. Nabavi, L. Nagel, S. Schwarz, M. Rupp: “Flexible multi-node simulation of cellular mobile communications: the Vienna 5G System Level Simulator”; *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 1 (2018).

- T. Nguyen, S. Le, R. Nissel, L. Compernelle, M. Wuilpart, P. Megret: “Pseudo-Pilot Coding Based Phase Noise Estimation for Coherent Optical FBMC-OQSM Transmissions”; *Journal of Lightwave Technology*, 36 (2018), 14; S. 2859 – 2867.
- R. Nissel, M. Rupp: “Pruned DFT Spread FBMC: Low PAPR, Low Latency, High Spectral Efficiency”; *IEEE Transactions on Communications*, 66 (2018), 10; S. 4811 – 4825.
- G. Pichler, P. Piantanida, G. Matz: “Dictator Functions Maximize Mutual Information”; *Annals of Applied Probability*, 28 (2018), 5.
- G. Pichler, P. Piantanida, G. Matz: “Distributed Information-Theoretic Clustering”; *IEEE Transactions on Information Theory*, 0 (2018).
- S. Pratschner, B. Tahir, L. Marijanovic, M. Mussbah, K. Kirev, R. Nissel, S. Schwarz, M. Rupp: “Versatile mobile communications simulation: the Vienna 5G Link Level Simulator”; *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018 (2018), 1; 226 S.
- L. Ribeiro, S. Schwarz, M. Rupp, A. Almeida: “Energy Efficiency of mmWave Massive MIMO Precoding with Low-Resolution DACs”; *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 12 (2018), 2; S. 298 – 312.
- K. Riha, M. Zupal, F. Hlawatsch: “Analysis of carotid artery transverse sections in long ultrasound video sequences”; *Ultrasound in Medicine and Biology*, 44 (2018), 1; S. 153 – 167.
- S. Rizkalla, R. Prestros, C. Mecklenbräuker: “Metallic Inductive Coupling Frame-based HF RFID Cards”; *IET Microwaves, Antennas & Propagation* (eingeladen), Special Issue: Selected Papers from the Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC 2016) (2018), 12 (5); S. 692 – 698.
- S. Rizkalla, R. Prestros, C. Mecklenbräuker: “Optimal Card Design for Non-Linear HF RFID Integrated Circuits with Guaranteed Standard-Compliance”; *IEEE Access*, Special section on Radio Frequency Identification and Security Techniques (2018), S. 1 – 14.
- S. Schwarz: “Robust Full-Dimension MIMO Transmission Based on Limited Feedback Angular-Domain CSIT”; *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018 (2018), 1.
- S. Schwarz, B. Ramos Elbal, E. Zöchmann, L. Marijanovic, S. Pratschner: “Dependable Wireless Connectivity: Insights and Methods for 5G and Beyond”; *E&I Elektrotechnik und Informationstechnik*, 135 (2018), 7; S. 449 – 455.
- E. Xypolytou, W. Gawlik, T. Zseby, J. Fabini: “Impact of Asynchronous Renewable Generation Infeed on Grid Frequency: Analysis Based on Grid Frequency: Analysis Based on Synchrophasor Measurement”; *Sustainability*, 10 (2018), 1605; S. 1 – 10.
- E. Zöchmann, G. Artner, S. Pratschner, M. Lerch, C. Mecklenbräuker, M. Rupp: “Carbon Fiber Reinforced Polymer with Isotropic 60GHz Reflectivity”; *Progress in Electromagnetics Research M*, 1 (2018), 67; S. 1 – 8.

## **EDITORIALS IN WISS. ZEITSCHRIFTEN / EDITORIALS IN SCIENTIFIC JOURNALS**

- P. Gerstoft, C. Mecklenbräuker, W. Seong, M. Bianco: “Introduction to compressive sensing in acoustics”; *Journal of the Acoustical Society of America* (eingeladen), 143 (2018), 6; S. 3731 – 3736.

## **VORTRÄGE UND POSTERPRÄSENTATIONEN (OHNE TAGUNGSBAND-EINTRAG) / LECTURES AND POSTER PRESENTATIONS (WITHOUT CONFERENCE PROCEEDINGS ENTRY)**

F. Ademaj: “Linking to 5G Research, Developments and System Level Modeling”; Vortrag: V2V and V2I communications for human society, Pristina, Kosovo (eingeladen); 08.10.2018.

G. Artner: “Smart Vehicular Antennas Concealed in a Chassis Cavity”; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2018, London, United Kingdom (eingeladen); 09.04.2018 – 13.04.2018.

T. Bersiha, C. Mecklenbräuer: “Workshop: FSS-aided Railway Vehicles: a Future Solution to Boost Mobile Communication Performance”; Vortrag: V2V and V2I communications for human society, Prishtina, Kosovo; 08.10.2018.

T. Blazek, T. Berisha, E. Gashi, B. Krasniqi, C. Mecklenbräuer: “Workshop: A Stochastic Performance Model For Dense Vehicular Ad-Hoc Networks”; Vortrag: V2V and V2I communications for human society, Pristina, Kosovo; 05.10.2018.

T. Blazek, T. Berisha, E. Gashi, B. Krasniqi, C. Mecklenbräuer: “Workshop: A stochastic performance Model for Dense Vehicular Ad-Hoc Networks”; Vortrag: V2V and V2I communications for human society, Pristina, Kosovo; 05.10.2018.

T. Blazek, G. Ghiaasi: “From Propagation Channels to Network Layer with NI SDRs: A tale of Two Cities”; Vortrag: NI Industry Summit Benelux 2018, Eindhoven, Niederlande (eingeladen); 31.10.2018.

C. Mecklenbräuer: “Daten, Dinge und Dukaten”; Hauptvortrag: Im Netz der Zukunft. Eine Reise ins Internet der Dinge, Weltmuseum Wien, Wien (eingeladen); 14.03.2018.

C. Mecklenbräuer et al.: “Channel Characterisation for Dependable Vehicular Connectivity at 6 and 60 GHz”; Hauptvortrag: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna (eingeladen); 09.09.2018 – 12.09.2018.

C. Mecklenbräuer et.al.: “Keynote Address on Vehicle-to-Anything (V2X) Communication”; Hauptvortrag: National Instruments VIP 2018, Fürstenfeldbruck (eingeladen); 24.10.2018 – 25.10.2018.

S. Rizkalla, C. Mecklenbräuer, R. Müller: “Direction of Arrival Estimation using Dual LASSO with Reed-Solomon Error Evaluation Algorithms”; Vortrag: 2018 Information Theory and Applications Workshop, San Diego, USA; 11.02.2018 – 16.02.2018.

S. Rizkalla, R. Prestros, C. Mecklenbräuer: “Constrained Optimization Algorithm for Designing Standard-compliant Non-galvanic HF RFID Cards”; Vortrag: 6<sup>th</sup> Workshop of the Radio Frequency Engineering Working Group of the Austrian Research Association (ARGE-HFT), Seefeld in Tirol; 06.09.2018 – 07.09.2018.

M. Rupp, S. Schwarz: “Dramatic Changes Call for new Wireless Strategies”; Vortrag: Wireless Kolloquium, Sofia, Bulgarien; 21.05.2018.

## VORTRÄGE UND POSTERPRÄSENTATIONEN (MIT TAGUNGSBAND-EINTRAG) / LECTURES AND POSTER PRESENTATIONS (WITH CONFERENCE PROCEEDINGS ENTRY)

F. Ademaj, S. Schwarz, K. Guan, M. Rupp: “Ray-Tracing based Validation of Spatial Consistency for Geometry-Based Stochastic Channels”; Vortrag: 2018 IEEE 8<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, IL, USA; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall)”, (2018), S. 1 – 5.

R. Annessi, J. Fabini, T. Zseby: “To Trust or Not to Trust: Data Origin Authentication for Group Communication in 5G Networks”; Vortrag: 13<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security, Hamburg, Germany; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “13<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security”, ACM, ACM’s International Conference Proceedings Series (ICPS). (2018), ISBN: 978-1-4503-6448-5.

R. Annessi, T. Zseby, J. Fabini: “A new Direction for Research on Data Origin Authentication in Group Communication”; Vortrag: International Conference on Cryptology and Network Security, Hong Kong; 30.11.2017 – 02.12.2017; in: “16<sup>th</sup> International Conference on Cryptology and Network Security”, Springer, (2018), ISBN: 978-3-030-02641-7; 10 S.

G. Artner, P. K. Gentner, R. Langwieser, C. Mecklenbräuker; “Simulation Model for Chassis Antenna Cavities Made from Carbon Fiber Reinforced Polymer”; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2018, London, United Kingdom; 09.04.2018 – 13.04.2018; in: “12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)”, (2018), 5 S.

G. Artner, W. Kottermann, G. Del Galdo, M. Hein: “Conformal Automotive Antennas in the Roof for Vehicle-to-X Communications”; Vortrag: COST CA15104 IRACON 8<sup>th</sup> MC meeting and 8<sup>th</sup> technical meeting, Podgorica, Montenegro; 01.10.2018 – 03.10.2018; in: “COST CA15104 IRACON 8<sup>th</sup> MC meeting and 8<sup>th</sup> technical meeting”, (2018), S. 1 – 7.

G. Artner, W. Kottermann, G. Del Galdo, M. Hein: “Conformal Automotive Roof-Top Antenna Cavity With Increased Coverage to Vulnerable Road Users”; Vortrag: COST CA15104 IRACON 7<sup>th</sup> MC meeting and 7<sup>th</sup> technical meeting, Cartagena; 30.05.2018 – 01.06.2018; in: “COST CA15104 IRACON 7<sup>th</sup> MC meeting and 7<sup>th</sup> technical meeting”, (2018), S. 1 – 6.

G. Artner, J. Kowalewski, C. Mecklenbräuker, T. Zwick: “Automotive Pattern Reconfigurable Antennas Concealed in a Chassis Cavity”; Vortrag: COST CA15104 IRACON 6<sup>th</sup> MC meeting and 6<sup>th</sup> technical meeting, Nicosia, Zypern; 29.01.2018 – 31.01.2018; in: “COST CA15104 IRACON 6<sup>th</sup> MC meeting and 6<sup>th</sup> technical meeting”, (2018), S. 1 – 7.

C. Backfrieder, M. Lindorfer, C. Mecklenbräuker, G. Ostermayer: “Robustness of Intelligent Vehicular Rerouting Towards Non-ideal Communication Delay”; Vortrag: Future of Information and Communication Conference (FICC) 2018, Singapore; 05.04.2018 – 06.04.2018; in: “Future of Information and Communication Conference (FICC) 2018”, Springer Nature Switzerland AG, (2018), S. 143 – 164.

P. Berger, M. Buchacher, G. Hannak, G. Matz: “Graph Learning based on Total Variation Minimization”; Poster: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2018), Calgary, AB, Canada; 15.04.2018 – 20.04.2018; in: “2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)”, IEEE, (2018), 5 S.

- T. Bersiha, T. Blazek, C. Mecklenbräuker: “Measurement and Analysis of Cellular Networks under Mobility: Investigation of Change Detection”; Vortrag: 2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, IL, USA; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall)”, IEEE Xplore, (2018), S. 1 – 5.
- T. Berisha, C. Mecklenbräuker: “Modelling and Evaluation of Uplink and Downlink KPI Variations using Information Bottleneck and Non-parametric Hypothesis”; Vortrag: COST CA15104 IRACON 7<sup>th</sup> MC meeting and 7<sup>th</sup> technical meeting, Cartagena; 30.05.2018 – 01.06.2018; in: “COST CA15104 IRACON 7<sup>th</sup> MC meeting and 7<sup>th</sup> technical meeting”, (2018), S. 1 – 5.
- T. Berisha, C. Mecklenbräuker: “Modelling and Evaluation of Uplink and Downlink KPI Variations using Information Bottleneck and Non-parametric Hypothesis”; Vortrag: BalkanCom 2018, Second International Balkan Conference on Communications and Networking, Podgorica, Montenegro (eingeladen); 06.06.2018 – 08.06.2018; in: “BalkanCom 2018”, Podgorica (2018), S. 1 – 5.
- F. Bianchi, L. Livi, A. Ferrante, J. Milosevic, M. Malek: “Time Series Kernel Similarities for Predicting Paroxysmal Atrial Fibrillation from ECGs”; Vortrag: International Joint Conference on Neural Networks IJCNN, Rio de Janeiro, Brazil; 08.07.2018 – 13.07.2018; in: “2018 International Joint Conference on Neural Networks IJCNN”, (2018), ISBN: 978-1-5090-6014-6.
- S. Birgmeier, N. Görtz: “Optimizing Approximate Message Passing for Variable Measurement Noise”; Poster: 26<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2018, Rom; 03.09.2018 – 07.09.2018; in: “Proceedings EUSIPCO 2018”, (2018), S. 489 – 493.
- T. Blazek, T. Berisha, E. Gashi, B. Krasniqi, C. Mecklenbräuker: “A Stochastic Performance Model for Dense Vehicular Ad-Hoc Networks”; Vortrag: COST CA15104 IRACON 8<sup>th</sup> MC meeting and 8<sup>th</sup> technical meeting, Podgorica; 01.10.2018 – 03.10.2018; in: “COST CA15104 IRACON 8<sup>th</sup> MC meeting and 8<sup>th</sup> technical meeting”, (2018), S. 1 – 5.
- T. Blazek, G. Ghiaasi, C. Backfrieder, G. Ostermayer, C. Mecklenbräuker: “IEEE 802.11p Performance for Vehicle-to-Anything Connectivity in Urban Interference Channels”; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) 2018, London, United Kingdom; 09.04.2018 – 13.04.2018; in: “12<sup>th</sup> European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)”, (2018), ISBN: 978-1-78561-815-4; S. 1 – 5.
- T. Blazek, C. Mecklenbräuker: “Low Complexity SNR-Based Packet Level Burst-Error Model for Vehicular Ad-Hoc Networks”; Vortrag: 2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, IL, USA; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall)”, (2018), S. 1 – 5.
- T. Blazek, E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker: “Approximation Clustered Millimeter Wave Vehicular Channels by Sparse Subband Fitting”; Vortrag: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna, Italy; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)”, IEEE (Hrg.); IEEE, (2018), ISBN: 978-1-5386-6009-6; 5 S.
- T. Blazek, E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker: “Model Order Selection for LASSO Fitted Millimeter Wave Vehicular Channel Data”; Vortrag: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)”, IEEE, (2018), ISBN: 978-1-5386-6009-6; 5 S.

- J. Blumenstein, A. Prokes, J. Vychodil, T. Mikulasek, J. Milos, E. Zöchmann, H. Groll, C. Mecklenbräuker, M. Hofer, D. Löschenbrand, L. Bernado, T. Zemen, S. Sangodoyin, A. Molisch: “Measured High-Resolution Power-Delay Profiles of Nonstationary Vehicular Millimeter Wave Channels”; Vortrag: IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications”, (2018), S. 1- 5.
- T. Dittrich, P. Berger, G. Matz: “Semi-Supervised Spectral Clustering using the Signed Laplacian”; Poster: Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA; 28.10.2018 – 31.10.2018; in: “51<sup>st</sup> Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers”, (2018), 5 S.
- M. Fereydooni, M. Müller, M. Rupp: “Effective Network Area for Efficient Simulation of Finite Area Wireless Networks”; Vortrag: 26<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2018, Rom; 03.07.2018 – 07.07.2018; in: “EUSIPCO 2018”, (2018).
- D. Frkat, R. Annessi, Z. Zseby: “ChainChannels: Private Botnet Communication Over Public Blockchains”; Vortrag: The 2018 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain-2018), Halifax, Canada; 30.07.2018 – 03.08.2018; in: “The 2018 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain-2018)”, (2018), ISBN: 978-1-5386-7975-3; S. 1244 – 1252.
- M. Groll, M. Mecklenbräuker, P. Gerstoft: “Sparse Bayesian Learning for Directions of Arrival on an FPGA”; Poster: 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), Freiburg im Breisgau, Germany; 10.06.2018 – 13.06.2018, in: “Proceedings of the 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)”, (2018), ISBN: 978-1-5386-1571-3; S. 623 – 627.
- G. Hannak, A. Perelli, G. Matz, M. E. Davies, N. Görtz: “Performance Analysis of Approximate Message Passing for Distributed Compressed Sensing”; Poster: International Travelling Workshop on Interactions between low-complexity data models and Sensing Techniques, Marseille, France; 21.11.2018 – 23.11.2018; in: “Proceedings iTWIST; international Traveling Workshop on Interactions between low-complexity data models and Sensing Techniques”, (2018).
- F. Iglesias Vazquez, T. Zseby, A. Zimek: “Outlier Detection Based on Low Density Models”; Vortrag: ICDM Workshop on Data Science and Big Data Analytics (DSBDA-2018), IEEE International Conference on Data Mining (ICDM-2018), Singapore; 17.11.2018 – 20.11.2018; in: “IEEE ICDM 2018 Workshops Proceedings”, IEEE Computer Society Press, (2018), S. 970 – 979.
- B. Krasniqi, B. Bytygi, D. Statovci: “VoLTE Performance Analysis and Evaluation in Real Networks”; Vortrag: BalkanCom 2018, Second International Balkan Conference on Communications and Networking, Podgorica, Montenegro (eingeladen); 06.06.2018 – 08.06.2018; in: “BalkanCom 2018”, Podgorica (2018), S. 1 – 5.
- T. Kropfreiter, H. Hlawatsch: “Multiobject Tracking with Track Continuity: An Efficient Random Finite Set Based Algorithm”; Vortrag: 2018 Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications (SDF), Bonn; 09.10.2018 – 11.10.2018; in: “Proc. Symposium Sensor Data Fusion 2018”, IEEE (Hrg.); (2018), ISBN: 978-1-5386-9398-8; S. 01 – 06.
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp: “Optimal Numerology in OFDM Systems Based on Imperfect Channel Knowledge”; Vortrag: 2018 IEEE 87<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference: VTC2018-Spring, Porto; 03.06.2018 – 06.06.2018; in: “The 2018 IEEE 87<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference”, Porto, Portugal (2018), ISSN: 2577-2465; S. 1 – 5.
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp: “Optimal Resource Allocation with Flexible Numerology”; Vortrag: IEEE International Conference on Communication Systems, Chengdu, China;

- 19.12.2018 – 21.12.2018; in: “16<sup>th</sup> International Conference on Communication Systems!, L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp (Hrg.); IEEE, (2018).
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp: “Pilot Pattern Optimization for Small Data Packet Transmission”; Vortrag: IEEE 26<sup>th</sup> Telecommunications forum TELFOR 2018, Belgrade; 20.11.2018 – 21.11.2018; in: “TELFOR 2018”, Belgrade, Serbia (2018), S. 1 – 4.
- R. Marsalek, J. Blumenstein, M. Pospischil, M. Rupp: “Measured-Capacity of mm-Wave Radio Link Under IQ Imbalance”; Vortrag: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC”, IEEE, (2018), ISBN: 978-1-5386-6009-6; S. 1 – 2.
- M. Müller, S. Schwarz, M. Rupp: “Investigation of Area Spectral Efficiency in Indoor Wireless Communications by Blockage Models”; Vortrag: The 16<sup>th</sup> International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), Shanghai, China; 07.05.2018 – 11.05.2018; in: “Workshop on Spatial Stochastic Models for Wireless Networks (SpaSWin)”, (2018).
- O. Musa, P. Jung, N. Görtz; “Generalized Approximate Message Passing for Unlimited Sampling of Sparse Signals”; als Poster angenommen für: Proceedings IEEE Global Conference on Signal and Information Processing, Anaheim, California, USA; 26.11.2018 – 29.11.2018; in: “Proceedings IEEE Global Conference on Signal and Information Processing”, IEEE, (2018).
- R. Nissel, F. Ademaj, M. Rupp: “Doubly-Selective Channel Estimation in FBMC-OQAM and OFDM Systems”; Vortrag: IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, USA; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall)”, (2018), S. 1 – 5.
- S. Paudel, P. Smith, T. Zseby: “Stealthy Attacks on Smart Grid PMU State Estimation”; Vortrag: 13<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES 2018), Hamburg, Germany; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Availability, Reliability and Security, ARES 2018, Hamburg, Germany, August 27-30, 2018. ACM 2018”, ACM, (2018), ISBN: 978-1-4503-6448-5, S. 1 – 10.
- G. Pichler, G. Koliander: “Information Bottleneck on General Alphabets“; Vortrag: IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Vail, Colorado, US; 17.06.2018 – 22.06.2018; in: “Proc. 2018 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)”, (2018), ISBN: 2157-8117; S. 526 – 530.
- S. Pratschner, S. Caban, D. Schützenhöfer, M. Lerch, E. Zöchmann, M. Rupp: “A Fair Comparison of Virtual to Full Antenna Array Measurements”; Vortrag: IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC 2018), Kalamata, Greece; 25.06.2018 – 28.06.2018; in: “IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC 2018)!, IEEE (Hrg.); IEEE, CFP18AWC-USB (2018), ISBN: 978-1-5386-3511-7; S. 1 – 5.
- A. Prokes, J. Vychodil, M. Mikulasek, J. Blumenstein, E. Zöchmann, H. Groll, C. Mecklenbräuker, M. Hofer, D. Löschenbrand, L. Bernado, T. Zemen, S. Sangodoyin, A. Molisch: “Time-Domain Broadband 60 GHz Channel Sounder for Vehicle-to-Vehicle Channel Measurement”; Vortrag: 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Taipei; 05.12.2018 – 07.12.2018; in: “Proceedings of the 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)”, (2018), S. 1 – 7.
- V. Raida, M. Lerch, P. Svoboda, M. Rupp: “Deriving Cell Load from RSRQ Measurements”; Vortrag: 2018 Network Traffic Measurement and Analysis Conference (TMA), Vienna; 25.06.2018 – 29.06.2018; in: “2018 Network Traffic Measurement and Analysis Conference (TMA)”, IEEE (Hrg.); IEEE, (2018), 6 S.



- V. Raida, P. Svoboda, M. Rupp: “Constant Rate Ultra Short Probing (CRUSP) Measurements in LTE Networks”; Vortrag: 2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall), Chicago, IL, USA; 27.08.2018 – 30.08.2018; in: “2018 IEEE 88<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC2018-Fall)”, IEEE (Hrg.); (2018), 5 S.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Rupp: “Lightweight Detection of Tariff Limits in Cellular Mobile Networks”; Vortrag: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)”, IEEE (Hrg.); IEEE (2018), ISBN: 978-1-5386-6009-6; 7 S.
- B. Ramos Elbal, F. Ademaj, S. Schwarz, M. Rupp: “The Impact of Carrier Frequency at 800 MHz and 3.5 GHz in Urban and Rural Environments using Large Antenna Arrays”; Vortrag: IEEE 26<sup>th</sup> Telecommunications forum TELFOR 2018, Belgrade; 20.11.2018 – 21.11.2018; in: “26<sup>th</sup> Telecommunications forum (TELFOR 2018)”, Belgrade, Serbia (2018).
- B. Ramos Elbal, M. Müller, S. Schwarz, M. Rupp: “Coverage-Improvement of V2I Communication Through Car-Relays in Microcellular Urban Networks”; Vortrag: 26<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2018, Italy; 03.09.2018 – 07.09.2018; in: “2018 26<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO)”, VDE Verlag, Rome, Italy (2018), S. 1536 – 1540.
- R. Repp, G. Papa, F. Meyer, P. Braca, F. Hlawatsch: “A Distributed Bernoulli Filter Based on Likelihood Consensus with Adaptive Pruning”; Vortrag: 21<sup>st</sup> International Conference on Information Fusion (FUSION 2018), Cambridge, UK; 10.07.2018 – 13.07.2018; in: “2018 21<sup>st</sup> International Conference on Information Fusion (FUSION)”, IEEE (Hrg.); (2018), ISBN: 978-0-9964527-6-2; S. 2445 – 2452.
- R. Repp, P. Rajmic, F. Meyer, F. Hlawatsch: “Target Tracking Using a Distributed Particle-PDA Filter with Sparsity-Promoting Likelihood Consensus”; Poster: 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP), Freiburg im Breisgau, Germany; 10.06.2018 – 13.06.2018; in: “2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)”, IEEE (Hrg.); (2018), ISBN: 978-1-5386-1571-3; S. 653 – 657.
- S. Rizkalla, C. Mecklenbräuer: “Design of Standard-compliant Non-galvanic HF RFID Cards”; Vortrag: IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC) 2018, Montreal, Canada; 03.06.2018 – 07.06.2018, in: “IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC) 2018”, (2018), S. 1 – 4.
- S. Rizkalla, R. Prestros, C. Mecklenbräuer: “A Simplified Reference Proximity Integrated Circuit Card for HF RFID”; Poster: 9<sup>th</sup> IEEE Latin American Symposium on Circuits and Systems, Puerto Vallarta, Mexico; 25.02.2018 – 28.02.2018; in: “IEEE Lascas 2018”, (2018), S. 1 – 4.
- S. Rizkalla, R. Prestros, C. Mecklenbräuer: “HF RFID Card Optimization Regarding the IC’s Non-Linearity”; Vortrag: European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies 2018, Dresden, Germany; 12.06.2018 – 13.06.2018; in: “Smart Systech 2018”, (2018), ISBN: 978-3-8007-4694-1; S. 1 – 6.
- S. Schwarz: “Dynamic Distributed Antenna Systems: A Transitional Solution for CRAN Implementation”; als Vortrag angenommen für: IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Abu Dhabi; 09.12.2018 – 13.12.2018; in: “Proceedings of the IEEE Global Communications Conference”, (2018), S. 1 – 7.
- S. Schwarz: “Remote Radio Head Assignment and Beamforming in Dynamic Distributed Antenna Systems”; Vortrag: IEEE International Conference on Communications, Kansas City, USA; 20.05.2018 – 24.05.2018; in: “Proceedings of IEEE International Conference on Communications”, (2018), ISSN: 1938-1883; S. 1 – 6.

S. Schwarz: “Signal Outage Optimized Beamforming for MISO TWDP Fading Channels”; Vortrag: IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “Proceedings of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications”, (2018), S. 1 – 6.

S. Schwarz, M. Rupp: “Cellular Networks for a Society in Motion”; Vortrag: International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Maribor; 20.06.2018 – 22.06.2018; in: “Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Conference on Systems, Signals and Image Processing”, (2018), ISSN: 2157-8702, S. 1 – 5.

E. Zöchmann, M. Hofer, M. Lerch, J. Blumenstein, S. Sangodoyin, H. Groll, S. Pratschner, S. Caban, D. Löschenbrand, L. Bernado, T. Zemen, A. Prokes, M. Rupp, C. Mecklenbräuker, A. Molisch: “Statistical Evaluation of Delay and Doppler Spread in 60 GHz Vehicle-to-Vehicle Channels During Overtaking”; Vortrag: 2018 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), Cartagena, Colombia; 10.09.2018 – 14.09.2018; in: “Proceedings of the 2018 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)”, (2018), S. 1 – 4.

E. Zöchmann, C. Mecklenbräuker, M. Lerch, S. Pratschner, M. Hofer, D. Löschenbrand, J. Blumenstein, S. Sangodoyin, G. Artner, S. Caban, T. Zemen, A. Prokes, M. Rupp, A. F. Molisch: “Measured Delay and Doppler Profiles of Overtaking Vehicles at 60 GHz”; Vortrag: 12<sup>th</sup> European Conference on Antennas and Propagation, London; 09.04.2018 – 12.04.2018; in: “Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Conference on Antennas and Propagation”, (2018), S. 1 – 5.

E. Zöchmann, V. Va, M. Rupp, R. W. Heath: “Geometric Tracking of Vehicular mmWave Channels to Enable Machine Learning on Onboard Sensors”; Vortrag: 2018 IEEE Globecom Workshop (GC Wkshps), Abu Dhabi; 09.12.2018 – 13.12.2018; in: “Proceedings of 2018 IEEE Globecom Workshop (GC Wkshps)”, (2018), S. 1 – 6.

S. Zwickl-Bernhard, J. Steiner, A. Pöllinger, G. Artner: “Carbon-Fiber Reinforced Antenna Cavity Hidden in the Monocoque of a Racing Car”; Poster: 2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Bologna; 09.09.2018 – 12.09.2018; in: “2018 IEEE 29<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)”, IEEE, (2018), ISBN: 978-1-5386-6009-6.

## **WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE / SCIENTIFIC REPORTS**

V. Gupta, S. Schwarz: “Energy detection for spectrum sensing”; 2018; 28 S.