

INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS TU WIEN

DOCUMENTATION
JANUARY 1 – DECEMBER 31, 2020

INHALT / CONTENTS

	Seite / Page
Kontaktpersonen / Contacts	3
Mitarbeiter des Instituts / Staff members	6
Sponsoren und Projektpartner / Sponsors and Cooperation Partners	10
Aktuelle Forschungsgebiete: Übersicht / Current Research Areas: Synopsis	12
Ernennungen und Preise / Nominations and Awards	23
Veranstaltungen / Events	23
Lehrveranstaltungen / Course Program	24
Gastvorträge von Institutsmitgliedern / Guest Talks by Members of the Institute	27
Forschungsprojekte / Research Projects	27
Dissertationen / Doctoral Dissertations	30
Diplom- und Masterarbeiten / Diploma and Master Theses	30
Zeitschriftenartikel / Publications in Scientific Journals	31
Editorials in wiss. Zeitschriften / Editorial in Scientific Journals	33
Vorträge und Posterpräsentationen (ohne Tagungsband-Eintrag) / Lectures and poster presentations (without conference proceedings entry)	33
Vorträge und Posterpräsentationen (mit Tagungsband-Eintrag) / Lectures and poster presentations (with conference proceedings entry)	33
Wissenschaftliche Berichte / Scientific Reports	38

Technische Universität Wien
Institute of Telecommunications
Gusshausstrasse 25/E389
1040 Wien, Austria
Tel.: (43 1) 58801 – ext.
Email: E389.office@tuwien.ac.at
<http://www.tc.tuwien.ac.at>

KONTAKTPERSONEN / CONTACTS

Nebenstelle / Extension

Vorstand

Univ. Prof. Ing. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Christoph Mecklenbräuer 38910

Sekretariat / Secretariat

Fr. Andrea Engelmaier 38901

Fr. Sladjana Virag 38954

Buchhaltung / Accounting

Fr. Brigitte Halzl 38915

Fr. Eva 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

Datenschutzansprechperson

Fr. Brigitte Halzl 38915

Informationssicherheitsansprechperson

Ing. Bernhard Wistawel 38924

○ 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

○ Multimedia-Systeme / Multimedia Systems

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

○ Flexible Funksysteme / Flexible Wireless Systems

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

○ Communication Networks

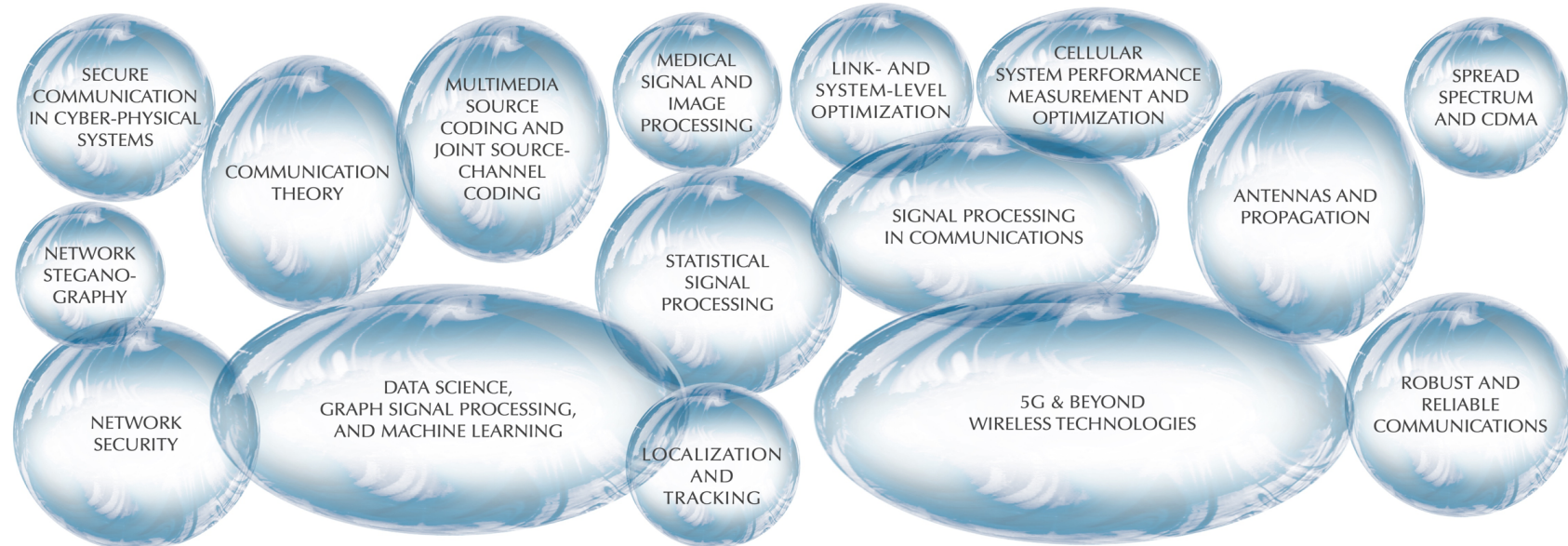
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. T. Zseby 38910

- 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

NETWORKS

SIGNAL PROCESSING

WIRELESS COMMUNICATIONS



ZSEBY



MATZ



GÖRTZ



HLAWATSCH



SCHWARZ



RUPP



MECKLENBRÄUKER



GOISER

MITARBEITER DES INSTITUTS / STAFF MEMBERS

Stand: 01.03.2021

Professor_innen:

Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Alois Goiser
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Norbert Görtz
Ao.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Hlawatsch
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
Asst. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Schwarz
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Tanja Zseby

Beamte des wissenschaftlichen Dienstes:

Senior Scientists:

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

Universitätsassistent_innen:

Dipl.-Ing. BSc Ashury Mehdi
Dipl.-Ing. Thomas John Bucco
Dipl.-Ing. BSc Thomas Dittrich
Dipl.-Ing. BSc Herbert Groll
MSc Hao Le
Dipl.-Ing. BSc Alexander Hartl
Dipl.-Ing. Fares Meghdouri
Dipl.-Ing. BSc Mariam Mussbah
Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Pichler
Dipl.-Ing. BSc Richard Prüller
Dipl.-Ing. Danilo Radovic
Dipl.-Ing. BSc Tripkovic Sonja
MSc Zhao Shengya

Projektassistent_innen:

MSc BSc Bernhard Brenner

Dipl.-Ing. Jan Dorazil

MSc Blanca Ramos Elbal (karenziert)

Dipl.-Ing. BSc Lukas Eller

MSc Michal Harvanek

Dipl.-Ing. Martin Lerch

MSc Ljiljana Marijanovic

MSc Carlos Andres Pachajoa Mejia

MSc Charmae F. Mendoza

Dipl.-Ing. BSc Stefan Pratschner

Dipl.-Ing. BSc Vaclav Raida

MSc Artan Salihu

Dipl.-Ing. Dr. techn. Driton Statovci

Dipl.-Ing. BSc Bashar Tahir

MSc Huang Zeyu

Studienassistent_innen:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Claudia Breitenfellner

Weixelbaumer Roman

Projektmitarbeiter_innen:

BSc Alexander Bokor

BSc Christoph Buchner

BSc Aleksandra Dordevic

BSc Christian Eliasch

BSc Martin Fraunhofer

BSc Agnes Fastenbauer

BSc Edgar Philip Jirousek

BSc Kiril Kirev

BSc Gerfried Krainz

BSc Thomas Lipovec

BSc Manuel Lobinger

Daniel Amadeus Maierhofer

BSc Jan Matthias Nausner

BSc Armand Nabavi

BSc Kevin Niederwanger

BSc Faruk Pasic

BSc Valentin Platzgummer

BSc Erik Sausa

BSc Areen Shiyahin Odeh Khairallah

BSc Alexander Schreiner

BSc Daniel Schützenhöfer

BSc Mislav Zane

Bedienstete des nichtwissenschaftlichen Dienstes:

Andrea Engelmaier

Ing. MSc Wolfgang Gartner

Brigitte Halzl

Matthias Nitzschke

Eva Schwab

Ing. Walter Schüttengruber

Sladjana Virag

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. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Heinrich Garn

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Admela Jukan

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

Em.O.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Mecklenbräuker

Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Molisch

Privatdoz. Dr. Fabio Ricciato

Univ. Doz. 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. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Winzer

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Zemen

Lehrbeauftragte:

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Stefan Cecil

OR i.R. Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr.techn. Walter Ehrlich-Schupita

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Kurt Lamedschwandner

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Neubauer

Univ.Lektor Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Wess

Weitere Mitarbeiter_innen:

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

Prof. Dr. Bernard Fleury
Dott.mag. Maximilian Bachl

Im letzten Jahr sind folgende Mitarbeiter_innen ausgeschieden:

BSc Martin Stefan Baumann
Dipl.-Ing. BSc Thomas Blazek
Dipl.-Ing. Thomas Ergoth
BSc Zeraliu Erjola
BSc Wolfgang Hofer
MSc Samira Homayouni
BSc David Kaufmann
Dipl.-Ing. BSc Thomas Kropfreiter
PhD Jelena Milosevic
Dipl.-Ing. Rene Repp
BSc Pendl Stefan

SPONSOREN UND PROJEKTPARTNER / SPONSORS AND COOPERATION PARTNERS

Aalto korkeakoulusaatio SR (AALTO), Espoo, 02150, Finland
Acoustics Research Institute, Austrian Academy of Sciences
AIT Austria Institute of Technology GmbH
ANDATA Artificial Intelligence Labs
Austrian Science Fund (FWF)
A1 Telekom Austria AG, Austria
Brno University of Technology, Czech Republic
Bundesministerium für Inneres
Bundesministerium für Landesverteidigung und Sport (BMLV)
Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus: Oberste Fernmeldebehörde
Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
CentraleSupélec, Frankreich
Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE), La Spezia, Italy
Centre national de la recherche scientifique CNRS (CNRS), PARIS 75794, France
Christian Doppler Forschungsgesellschaft
COMLAB AG Ey 13 | CH-3063 Ittigen
Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT), Parma 43124, Italy,
COST-Action CA15104 IRACON
Deutsche Bahn AG
Dipl.-Ing. Dr. Hermann Bühler GmbH
Department of Electrical and Computer Engineering, Stony Brook University / NY, USA
Department of Electrical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology
Diamond Aircraft Industries GmbH
Disaster Competence Network Austria
EMS Solutions GmbH, Wien, Austria
Fakultät für Informatik, TU Wien
FFG – Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft GmbH
FH Salzburg
GREENERWAVE (Greenerwave SAS), VALBONNE 06560, France
Ikarus Security Software GmbH
Ilwerke vkw AG
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe (TU Wien)
Johannes Kepler University, Linz, Austria
Komobile W7
Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm, Sweden
Kuratorium für Verkehrssicherheit

National Center for Scientific Research "DEMOKRITOS" (NCSR),
 Agia Paraskevi 15341, Greece
 Nec Laboratories Europe GmbH (NEC), Heidelberg 69115, Germany
 Nokia Solutions and Networks, Ulm, Deutschland
 Nokia Solutions and Networks OY (Nokia Bell), Espoo 02610, Finland
 Numerical Harmonic Analysis Group (NuHAG), Universität Wien
 Österreichische Bundesbahnen (ÖBB)
 Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG (ORS)
 Propagation Ideas and Solutions GmbH (PIDSO)
 Radio-Amateur-Klub der Technischen Universität Wien
 School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xian, China
 Siemens AG Österreich
 Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia
 SWARCO Futurit Ges.m.b.H
 Technische Universität Graz (TU Graz)
 Technische Universität Ilmenau (TU Ilmenau)
 Technische Universität München, Deutschland
 Technologieplattform Smart Grids Austria
 Telefonica Investigacion y Desarrollo Sa (TID), MADRID , Spain
 TÜV Austria
 TU Wien Institut für Mechanik und Mechatronik
 Universidad Pompeu Fabra (UPF), Barcelona, Spain
 University of California San Diego (UCSD), San Diego, USA
 University of Edinburgh, Großbritannien
 University of Southern California (USC), Los Angeles, USA
 Universität Wien, Institut für Europarecht, Internationales Recht und Rechtsvergleichung
 Wave Up S.r.l. (WAVE UP SRL), SIENA, Italy
 Wien Leuchtet (MA33)
 Wiener Netze GmbH
 Wiener Stadtwerke Holding AG
 Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF)
 Wirtschaftsagentur Wien

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 Schwerpunkte behandelt: Messung und Simulation von Funkübertragungsstrecken der fünften Generation (5G) und darüber hinaus, speziell im Bereich sogenannter Millimeterwellen und Full-Dimension MIMO Systeme; Entwicklung und Verbesserung von Sende/Empfangs Signalverarbeitungsalgorithmen; Simulation und Optimierung dichter heterogener Mobilfunknetze mit verteilten Antennen; 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, Nokia Solutions and Networks und seit 2019 ÖBB Infrastruktur AG, 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 vier 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 galt zunächst der messtechnischen Charakterisierung von Funkübertragungsstrecken bei 60 GHz und im weiteren Zuge der Entwicklung effizienter Sende-Empfänger, der Fokus liegt nun aber auf 26GHz Übertragungen. 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) Im auslaufenden 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. 4) In Modul 4 entwickeln wir gemeinsam mit ÖBB Infrastruktur AG Lokalisierungsmethoden auf Basis drahtloser Kommunikationstechnologien unter Einsatz von Techniken des maschinellen Lernens. Diese Methoden ermöglichen eine Analyse großräumiger Personenströme im öffentlichen

Verkehr und unterstützen eine dynamische Optimierung des Mobilfunknetzes auf Basis zeitlich und räumlich aufgelöster Bedarfsvorhersagen.

Ein wichtiger Teil unserer Entwicklungstätigkeit, zur Umsetzung der Forschungsergebnisse, umfasst die Implementierung und Erweiterung unserer LTE/LTE-Advanced und 5G Link- und System-Level Simulatoren. 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. Im Jahr 2020 lag der Fokus auf dem 5G Simulatoren, hier wurden die Versionen 1.2 für den Link Level Simulator und 1.1 für den System Level Simulator veröffentlicht. Mit der neuen Flexibilität der Simulatoren war es möglich die Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG (ORS) als neuen Kunden außerhalb des Mobilfunkmarktes im Bereich 5G Broadcast zu gewinnen.

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 SEMONE 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 in Android Performance Tools auf verteilte Systeme in der ganzen EU ausgerollt.

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 TS gegeben, mit dem Ziel noch mehr Kunden ein perfektes mobiles Serviceerlebnis in Zügen zukommen zu lassen. In einer Erweiterung dieser Aktivitäten wurden nun auch Optimierungen an der Mobilfunk relevanten Infrastruktur entlang Bahnstrecken und in Tunnels mit der ÖBB Infra vorgenommen. Im Anschluss an diese Aktivitäten konnten wir in diesem Jahr auch für weitere internationale Firmen im Bahnsektor aktiv werden. So haben wir mit dem Hersteller für mobile Repeaterlösungen, der COMLAB CH AG, Optimierungen und Prototypenzüge vermessen. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn AG haben wir eine theoretische Analyse des Einflusses durch Mobilfunkbedingte Nebenaussendungen auf die Zugsteuerung analysiert.

Im Zuge der Entwicklung von immer neuen Diensten haben sich die Anforderungen an die Qualität von Netzwerken geändert. Im diesem Jahr konnte die bestehende direkte Kooperation mit A1 Telekom Austria AG 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 LTE, 5G in hybrider Kombination mit stationären Zugängen in der Technologie ADSL. Die Herausforderung ist die aktuelle gesellschaftliche Entwicklung Richtung Home-Office 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 werden Optimierungen gefunden, den Verkehr auch in Zukunft zuverlässig anbieten zu können.

Im Bereich der Vermessung von Mobilfunk Abdeckung im Feld in 3D haben wir in den letzten Jahren aktiv an der Entwicklung von autonomen Testverfahren gearbeitet. Im Zuge dieser Aktivitäten wurde ein Prototype für modifizierte Flugdrohnen mit einer entsprechenden Software zur Optimierte Planung der Missionen entworfen. Aktuell arbeiten wir Richtung eines autonomen Messverfahrens mittels künstlicher Intelligenz.

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, welches trotz Covid-19 in geringerem Umfang online stattfinden konnte. Das Seminar in Zusammenarbeit mit den Technischen Universitäten Bratislava und Brno mussten wir gemeinsam absagen.

Mobile Communications

In the broad field of mobile communications, our group focuses on major topics within the scope of next-generation mobile cellular networks: link layer measurements and simulations of fourth/fifth generation (4G/5G) and beyond mobile communications, simulation and optimization of heterogeneous cellular networks with distributed antennas, 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, Nokia Solutions and Networks and since 2019 ÖBB Infrastruktur AG, we set our objective within this CD-Lab on significantly contributing to the development of fifth-generation and beyond mobile communications technologies, with a 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 four 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. The 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 and 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 face 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 was 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. Now the focus has shifted towards 26GHz transmissions. Wireless ad-hoc communications are 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 the final phase of 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 a central enabler for providing the network capacities required in future mobile networks. With an increasing number of base stations in mobile networks (small cells) and 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 of enabling the efficient and realistic mathematical representation of dense heterogeneous networks is the accurate modeling of interference amongst network nodes. We utilize so-called stochastic geometry methods. 4) In research module 4, we develop together with ÖBB Infrastruktur AG localization techniques based on wireless communication technologies, utilizing novel machine learning concepts such as deep neural network learning. These methods facilitate large scale analysis of person flows in public transportations and support a dynamic self-optimization of the mobile network based on spatiotemporal demand predictions.

To enable computer-based investigation of dense heterogeneous cellular networks and 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. The Vienna Cellular

Communications Simulators (VCCS) are a suite of Matlab based simulators, publicly available for academic users to download on our webpage. The free simulators are highly popular within the scientific community (>50.000 downloads) and commercially available, currently in usage by a large number of 3GPP companies. In 2020 the focus was the link- and system-level simulators for 5G networks, which build the basis for the research work conducted in all three CD-Lab research modules as well as other cooperations. New releases of these simulators are continuously made available to our partners, following the newest developments within mobile network standardizations. In 2020 the VCCS-5G simulator version 1.2 for the Link Level Simulator and 1.1 for the System Level Simulator were published. With the new flexibility of the simulators, it was possible to win the Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG (ORS) as a new customer outside of the mobile communications market in the area of 5G broadcast. The VCCS is therefore developing beyond the initial base of cooperation partners.

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, SEMONE performance benchmarks transform from centrally coordinated 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 analyze, measure and simulate operational mobile networks.

The concept of minimal intrusive probing to characterize mobile networks has been put to a European level by contributing measurement methodologies to various performance measurement tools. At this level, we have developed CRUPS as an Android APP for testing in the real world.

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-TS). 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. Since 2020 we optimize the mobile coverage provided by infrastructure along the rails for service on trains together with the ÖBB-Infra. Following these activities, we started cooperation with other international companies in the rail sector. With the manufacturer of mobile repeater solutions, COMLAB CH AG, we measured optimizations and prototype trains. With the Deutsche Bahn AG, we carried out a theoretical analysis of the influence of secondary emissions caused by mobile communications on train control.

The demand for new mobile communication services has changed the requirements for the quality monitoring of 5G based networks. In this year, we continued our cooperation action with A1 in this area. The focus is on mobile access technologies, LTE and 5G, and the hybrid combination with xDSL technology. The challenge is the current social development towards nomadic home-office usage, which leads to 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 a method to measure and characterize the traffic flows and optimize their resource consumptions.

Measuring the performance of mobile communications in 3D is a new research challenge we picked up in recent years. We focus on the development of fully autonomous test vehicles collecting measurement data along the optimized path. In 2020, we created a prototype for modified aerial drones with a software module for optimized mission planning. The drone is currently partially autonomous, measuring using artificial intelligence.

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 offered an International Seminar on Mobile Communications this year due to Covid-19 online and in reduced form. The cooperation with the Technical Universities of Bratislava and Brno we conduct as part of the Mobile Communications Seminar lecture will restart in 2021 in a new online format.

Christian Doppler Labor für „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 von Mobilfunknetzen speziell für solche Szenarien signifikant zu verbessern und gleichzeitig auch eine zuverlässige Kommunikation selbst bei hoher Mobilität zu gewährleisten. Dementsprechend liegt das Hauptaugenmerk der Forschungsarbeiten der Mitarbeiter des Labors auf Fragen der Verfügbarkeit, Latenzzeit, Ausfallsicherheit und Effizienz der drahtlosen Kommunikation.

Das CD-Labor hat seine Arbeit im Jänner 2016 mit den drei Unternehmenspartnern A1 Telekom Austria AG, Kathrein Werke-KG und Nokia Solutions and Networks aufgenommen. Im Jahr 2019 wurde das Labor um einen vierten Unternehmenspartner, ÖBB Infrastruktur AG, erweitert. Im Hauptfokus des CD-Labors liegen Mobilfunktechnologien der fünften Generation. Seit 2020 beschäftigen wir uns auch vermehrt mit vielversprechenden Nachfolgetechnologien für Mobilfunknetze der sechsten Generation. Die Forschungstätigkeiten des CD-Labors erstrecken sich von messtechnischen Charakterisierungen des drahtlosen Übertragungskanal, speziell bei höheren Frequenzen, über Optimierungen der Sende-/Empfangssignalverarbeitung auf Link-Ebene, bis hin zu großräumigen Netzanalysen auf System-Ebene. Das CD-Labor beschäftigt derzeit sechs Doktoranden und Doktorandinnen, die von acht Master-Studierenden tatkräftig unterstützt werden. Wir kooperieren in unseren Forschungsarbeiten mit zahlreichen Außer- und Inner-Europäischen Universitäten und Forschungseinrichtungen und organisieren regelmäßig wissenschaftliche Events, um unsere Ergebnisse zu teilen und zu promoten. Nach erfolgreicher 5-Jahresevaluierung im Oktober 2020, befindet sich das CD-Labor bereits in der finalen Erweiterungsphase bis Ende 2022.

Christian Doppler Laboratory for „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 CD-lab started its work in January 2016 with three work modules. Each of the modules is associated to one of our three industrial partners Nokia Solutions and Networks (Module 1), A1 Telekom Austria AG (Module 2) and Kathrein-Werke KG (Module 3). In January 2019 the Lab was extended by a fourth research module with the industrial partner ÖBB Infrastruktur AG. The main scope of the laboratory is on 5G mobile communication technologies. Since 2020, our research additionally focuses on the most promising 6G candidate technologies. Our research work within the CD-lab encompasses measurement-based wireless channel characterizations, especially at higher carrier frequencies, optimization of transmitter and receiver signal processing on link level, as well as, large-scale network analyses on a system level. The CD-lab currently finances six doctoral students and eight Master-level students. In addition, we cooperate with many Universities and research institutions within and outside of Europe. We also regularly organize scientific events to share our results with other researchers and to promote our work. After a successful scientific 5-years evaluation in October of 2020, the CD-lab is now in its final extension phase until the end of 2022.

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 in particular, as well as advanced machine learning, with applications, e.g., in image processing and communications.

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“) by iterative algorithms, in particular the application of approximate message passing (AMP) to problems in image processing but also in communications.

Machine Learning:

Estimation of Information Measures: While information theoretic quantities such as entropy and mutual information are extensively used in the training and evaluation of machine learning systems, this usage is profoundly different from their applications in coding theorems. In the context of machine learning, these quantities need to be estimated. We investigate specifically adapted algorithms for this estimation problem, necessary conditions, and fundamental limitations.

Information Theory and Computability: In addition to the statistical properties of information measures, we analyze their computability in various models of computation. In particular, we consider information inequalities, the "rules" of information theory, as well as operational definitions of capacities and coding rates.

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 realization 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 realization 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.

Flexible Funksysteme

Die inzwischen bereits verfügbaren 5G Funktechnologien erlauben eine effiziente Verbreitung digitaler Inhalte: Das Internet ist mobil und erlaubt die Generierung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und Manipulation von Information. Die aktuelle 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 *verlässlich* („dependable“) funktionieren. Dies erfordert wesentliche Verbesserungen der Verfügbarkeit und Übertragungslatenz, garantierten Datendurchsatz, sowie Energieeffizienz und Kosten. Wir befassen uns daher mit 5G/6G Funktechnologien, 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 3G wurden bereits in 4G erreicht hinsichtlich spektraler Effizienz durch dynamische Ressourcenallokation unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslast, MIMO Verfahren mit Vorkodierung und Antennenmultiplex. *Massive* MIMO Übertragungsverfahren und rekonfigurierbare Meta-Oberflächen werden Basistechnologien für 5G und 6G Netze.

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 Verkehrs-telematik 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 pulsbasierte 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

Currently available early 5G wireless systems are rolled-out and 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/6G 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 3G 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. Massive MIMO transmission and reconfigurable meta-surfaces will be core 5G/6G technologies.

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 are low-power sensor networks and robust embedded systems which require neither batteries, nor external antennas. We explore 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.

Communication Networks

The main research areas of the communication networks (CN) group at the Institute of Telecommunications (IT) 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).

Signalverarbeitung

Die Entwicklung statistischer Signalverarbeitungsmethoden zur Verfolgung multipler Objekte in zentralisierten und dezentralen Szenarien stellt einen Schwerpunkt unserer Arbeit dar. Ein Beispiel ist die Detektion von Fahrzeugen und die Schätzung ihrer zeitabhängigen Positionen aufgrund von Daten, die z.B. von Radar-, Sonar- oder bildgebenden Sensoren geliefert werden. Verteilte Algorithmen für dezentrale Sensornetze haben den Vorteil, ohne eine zentrale Verarbeitungseinheit oder Kommunikation zwischen weit entfernten Sensoren auszukommen. Unser besonderes Interesse gilt der Lokalisierung und Verfolgung einer unbekannten Anzahl von mobilen Objekten mit unbekannter Zuordnung zu den Messdaten. Unsere aktuellen Forschungsergebnisse in diesem Bereich betreffen die Integration eines Klassifikators und kontextueller Information sowie Methoden zur probabilistischen Objektzuordnung zwischen den Sensoren.

Ein wesentliches Ergebnis unserer Arbeit war die Einführung von Faktorgraphen und des “belief propagation”-Algorithmus im Bereich der multiplen Objektverfolgung. Die auf diesem Ansatz beruhenden Methoden zeichnen sich durch hohe Effizienz, Skalierbarkeit und Vielseitigkeit aus, und sie sind in der Lage, die Messdaten mehrerer Sensoren zu kombinieren und sich adaptiv auf zeitvariante Systembedingungen anzupassen. Wir entwickelten ferner Algorithmen zur multiplen Objektverfolgung, bei denen die Objektzustände und die Messdaten durch endliche Zufallsmengen modelliert werden. Die Verwendung einer speziellen Klasse endlicher Zufallsmengen erlaubte die Schätzung gesamter Objekttrajektorien mit einer konsistenten Identifikation der Objekte.

Eine zweite aktuelle Forschungsrichtung ist die medizinische Signalverarbeitung. Motiviert durch die Tatsache, dass die Analyse der Bewegung von Arterien Rückschlüsse auf eine Arterienverkalkung ermöglicht, entwickelten wir ein Zustandsraummodell und eine Methode zur Schätzung der Bewegung der Halsschlagader basierend auf einer Ultraschall-Videosequenz. Unsere Methode kombiniert einen “optical flow“-Algorithmus mit einem erweiterten Kalman-Filter und ist robust gegenüber Fehlern in den Ultraschallbildern.

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 Funksysteme und Multimediasysteme.

Signal Processing

The development of statistical signal processing methods for multi-object tracking in centralized and decentralized scenarios is a major focus of our work. An example is the task of detecting vehicles and estimating their time-varying positions based on data provided by sensing devices such as radar, sonar, or cameras. Distributed algorithms for decentralized sensor networks have the advantage of not requiring a central processing unit or communication between distant sensors. We are mainly interested in the challenging case where the number of objects and the association between measurements and objects are unknown. Our recent results in this area concern the integration of a classifier and of contextual information, as well as methods for probabilistic object association between sensors.

A notable outcome of our research has been the introduction of factor graphs and the belief propagation algorithm to the field of multi-object tracking. The belief propagation approach is advantageous because of its superior efficiency, scalability, and versatility. Our belief propagation-

based multi-object tracking algorithms are able to fuse the measurements of multiple sensors and to continually adapt to time-varying system parameters. We also devised multi-object tracking algorithms in which the object states and the measurements are modeled by finite point processes. In particular, the use of marked finite point processes enables the estimation of entire object trajectories with consistent identification of the objects.

Another line of our research is medical signal processing. Motivated by the fact that an analysis of the movement of arteries yields effective indicators for atherosclerosis, we developed a state-space model and a method for tracking the movement of the carotid artery based on an ultrasound video sequence. Our method achieves superior robustness to artifacts specific to the ultrasound modality by using a joint fusion-and-tracking approach that combines an optical flow algorithm with an unscented Kalman filter.

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 Methoden der Signalverarbeitung für Big Data und drahtlose Kommunikations- und Sensornetze.

Das junge Gebiet der Graphsignalverarbeitung wird erfolgreich zur Analyse von Datensätzen aus sozialen Netzwerken, Kommunikationsnetzen, Infrastrukturnetzen, biologischen Netzen, sowie von Multimediadaten eingesetzt. Hier 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 die Eignung zur verteilten Implementierung aus, was die praktische Anwendung auf Big-Data-Datensätze ermöglicht. Anhand eines Datensatzes mit Amazon-Produkten und deren Bewertungen konnten wir die hervorragende Leistungsfähigkeit unserer Methode demonstrieren.

Weiters beschäftigten wir uns mit dem Problem des Lernens der Struktur eines Graphen anhand großer, möglicherweise unvollständiger und fehlerbehafteter Datensätze. Wir formulierten diese Aufgabe als quadratisches Optimierungsproblem und lösten dieses mit einer effizienten Implementierung des ADMM-Algorithmus, die linear mit der Anzahl an Datenpunkten skaliert und daher auch für große Datensätze geeignet ist. Die Leistungsfähigkeit unserer Methoden stellten wir anhand echter Daten unter Beweis. Dabei gelang es uns unter anderem, aus anonymen Abstimmungsergebnissen des Österreichischen Nationalrats die Fraktionszugehörigkeit der Abgeordneten zu bestimmen.

Als dritten Schwerpunkt im Bereich Graphsignalverarbeitung setzten wir uns mit dem „Clustering“-Problem auseinander, d.h. mit der Gruppierung von Datenpunkten so dass die Gruppen möglichst homogen sind (Punkte innerhalb der Gruppe möglichst ähnlich) während verschiedene Gruppen möglichst gut separiert sind (Punkte in verschiedenen Gruppen möglichst unähnlich). Dazu entwickelten wir Verfahren, die auf vorzeichenbehafteten Graphen basieren und entweder mittels des Graphspektrums oder durch Minimierung der Totalvariation die Datencluster bestimmen. Bei Letzterem konnten wir beweisen, dass die Ergebnisse im Großteil der Fälle mit dem optimalen aber numerisch aufwändigen Kantenschnitt übereinstimmen.

Gemeinsam mit der *École Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL, Schweiz) erforschten wir 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. Eine Hardware-Synthese eines Decoders für 10GigabitEthernet in 28nm CMOS-Technologie führte zum weltweit schnellsten Durchsatz von mehr als 500 Gigabit pro Sekunde bei einer Chipfläche von ca. 20mm².

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 komprimierte Feedbacksignale (wie es in der Praxis immer der Fall ist). Es gelang uns zu zeigen, dass lineare Codierung hier im Gegensatz zu verdrauschem 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 lösten wir mithilfe von Algorithmen zur konvex-konkaven Optimierung.

Communication Theory

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

The young field of graph signal processing is being successfully applied for the analysis of datasets from social networks, communication networks, infrastructure networks, biological networks, and multimedia. In this area, 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 suited for distributed implementation, which enables the practical applications to massive datasets. We could verify the excellent performance of our scheme using a real-world dataset of Amazon products and ratings.

We furthermore considered the problem of learning the structure of a graph from huge but possibly incomplete and noisy data sets distributed implementations. We formulated this problem as a quadratic optimization problem and we proposed to solve this problem using an efficient implementation of the ADMM algorithm that scales linearly with the number of data points and thus is well-suited for large-scale data. Numerical experiments with real-world data confirmed the excellent performance of our method. Among other things we managed to determine the party affiliation of Austrian Members of Parliament from anonymous voting results in the Austrian National Council.

Another key focus of our work in the area of graph signal processing was the problem of clustering, i.e., grouping data points such that groups are maximally homogeneous (points within a group are similar) whereas distinct groups are as much separated as possible (points in distinct groups are maximally dissimilar). For this purpose, we developed methods that build on signed graphs and use either the graph spectrum or total variation minimization to determine the data clusters. For the latter we were able to prove that in the majority of cases the clustering results coincide with the optimal but numerically intractable graph cut.

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 lead to a record-breaking throughput of more than 500 Gigabit per second at 20mm² 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.

ERNENNUNGEN UND PREISE / NOMINATIONS AND AWARDS

Christoph Mecklenbräuker: chairs the IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Technical Committee during 01.01.2019 – 31.12.2020.

Markus Rupp: Served as Technical Chair for the 45th International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (May 2020)

T. Kropfreiter and F. Hlawatsch: FUSION 2020 Student Paper Award: "A probabilistic label association algorithm for distributed labeled multi-Bernoulli filtering," 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION 2020), Rustenburg, South Africa (virtual conference), July 2020, pp. 1-8, doi: 10.23919/FUSION45008.2020.9190440.

A. Hartl, M. Bachl, J. Fabini and T. Zseby: IEEE BigDataService 2020 Best Paper Award: "Explainability and Adversarial Robustness for RNNs," 2020 IEEE Sixth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), Oxford, United Kingdom, 2020, pp. 148-156, doi: 10.1109/BigDataService49289.2020.00030.

2020 & SEW Europrice: best Diploma Thesis: Miriam Leopoldseder, & "Data Driven Prediction of Crowd Mobility in Small Cell Environments".

VERANSTALTUNGEN / EVENTS

Informationstechnisches Kolloquium: Digitalisierung für das Erreichen der Klimaziele. Due to the Covid.-19 pandemic, this event was moved to May 18, 2021. Organizers: Christoph Mecklenbräuker, Helmut Malleck, Thomas Zemen, Veranstalter: OVE, TU Wien, AIT.

Special Session: Recent Advances in Prototyping and Experimentation for Wireless Communications, 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, May 2020, Organizers: Stefan Schwarz and Markus Rupp

LEHRVERANSTALTUNGEN / COURSE PROGRAM

Im Studienjahr 2020

1. PFLICHTLEHRVERANSTALTUNGEN / MANDATORY COURSES

			WS	SS
Görtz, Pichler	Signals and Systems 2	VU	----	3.0
Goiser, Schwarz	Telekommunikation	VU	----	3.5
ProfessorInnen und AssistentInnen	Data Communication	VO	----	2.0
Görtz	Wireless Communications 2	VO	----	2.0
Mecklenbräuker, Rupp, Radovic, Mussbah	Wireless Communications 1	VU	----	4.0
Hlawatsch, Repp	Digital Communications 1	VU	----	3.0
Fabini, Hartl	Communication Networks 2	VU	----	3.0
Goiser, Radovic	Lab Wireless Communications	LU	----	2.0
Mecklenbräuker, Groll	Wave propagation	VU	3.0	----
Zseby	Communication Networks 1	VO	3.0	----
Hlawatsch, Bucco	Digital Communications 2	VU	3.0	----
Rupp, Prüller, Tripkovic	Signal Processing 1	VU	3.0	----
Matz, Dittrich	Signal Processing 2	VU	3.0	----

2. WAHLEHRVERANSTALTUNGEN / OPTIONAL COURSES

			WS	SS
Ehrlich-Schupita	Messgeräte der Hochfrequenttechnik A	KO	----	1,5
Hlawatsch, Rupp, Matz	Research Projects in Advanced Signal Processing	SE	3.0	3.0
ProfessorInnen und AssistentInnen	Computer oriented projects	AG	4.0	4.0
Mecklenbräuker	ITC Forum	KO	----	2.0
Rupp, Mecklenbräuker, Schwarz	International Seminar on Mobile Communication	SE	----	3.0

Matz	Signal Detection	VO	----	2.0
Langwieser	Practical Implementation of Radio Frequency Circuits	PR	----	3.0
Mecklenbräuker, Langwieser, Ehrlich-Schupita	Antenna Design and Realization	PR	----	2.0
Matz	Graphical models in signal processing and communication	VO	----	2.0
Hlawatsch	Parameter Estimations Methods	VO	----	2.0
Matz, Mecklenbräuker	Convex Optimization for Signal Processing and Communication	VO	----	2.0
ProfessorInnen	Bachelor Thesis and Seminar	PR	10.0	10.0
Görtz	Practical Courses (Transitional Rules B.-Thesis)	PA	2.0	2.0
Mecklenbräuker, Rupp	Special Topic Telecommunication	VU	----	4.0
Ehrlich-Schupita, Neubauer, Lameschwandner, Cecil	Selected Topics in Electromagnetic Fields and Waves	VU	----	4.0
Goiser	Einführung in die Telekommunikation	VU	----	3.0
Zseby, Iglesias, Bachl	Network Security	VU	----	2.0
Zseby	Communication Networks Seminar	SE	----	2.0
Rupp, Mecklenbräuker, Svoboda	Seminar Wireless Communication	SE	----	3.0
Hlawatsch, Kropfreiter	Signal Processing Seminar	SE	----	3.0
Gartner	Lab FPGA Programming Fundamentals using VHDL	LU	----	2.0
Görtz, Pichler	Signal Processing for Big Data	SE	----	2.0
Mecklenbräuker, Langwieser	Centimeter and Milimeter Waves	PR	----	2.0
Schwarz	5 th Generation Wireless Technologies	VO	----	2.0
Ullrich	Radar- und Lidartechnik		----	1.5

Mecklenbräuker, Pratschner	Shortwave Radio Communication	VO	1.5	----
Hlawatsch	Information Theory for Communication Engineers	VO	2.0	----
Langwieser Soklic	Computer Aided RF Circuit Design	PR	3.0	----
Rupp	DSP Seminar	SE	1.0	----
Matz, Mecklenbräuker	MIMO Communications	VO	2.0	----
Matz	Wireless OFDM Systems	VO	2.0	----
Wess	Selected Topics in Signals and Systems	VU	4.0	----
Goiser	Robuste und verlässliche Kommunikationssysteme	VU	2.0	----
Zseby, Meghdouri, Iglesias	Network Security – Advanced Topics	VU	2.0	----
Görtz	Source Coding	VO	2.0	----
Rupp, Svoboda	Advanced Wireless Communications 1	VO	2.0	----
Görtz, Matz	Digital Communications Seminar	SE	3.0	----
Goiser	Advanced Wireless Communications 2	VO	2.0	----
Mecklenbräuker, Zemen	Advanced Wireless Communications 3	VO	2.0	----
Rupp	Machine Learning Algorithms	VO	3.0	----

GASTVORTRÄGE VON INSTITUTSMITGLIEDERN / GUEST TALKS BY MEMBERS OF THE INSTITUTE

Markus Rupp: „Wireless Communications of the Future”; Vortrag: 2020 & Invited seminar talk at TU Dresden, 13.01.2020

Markus Rupp: “Wireless Communication of the Future”; Vortrag: 2020 & Invited plenary talk at ITSRC conference Bratislava, 22.04.2020

Markus Rupp: “Wireless Communications of the Future”; Vortrag: 2020 & Invited plenary talk at SST conference, Osijek, Croatia, 15.10.2020

Stefan Schwarz: "Dependable Wireless Connectivity for Mobile Communications"; Gastvortrag: TU München, 14.02.2020

Stefan Schwarz: "Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion — CD-Lab Overview"; Nokia Innovations Lecture, virtuell, 22.07.2020

Christoph Mecklenbräuker, Shengya Zhao: “Shape Your Desired Wireless Propagation with Reconfigurable Intelligent Surfaces”, Vortrag: Plenary Talk at ChaseOn and GHz Centre Day, Göteborg, Sweden, Nov. 18, 2020 (virtual workshop).

FORSCHUNGSPROJEKTE / RESEARCH PROJECTS

SIGNALVERARBEITUNG / SIGNAL PROCESSING

Agent Localization and Inference of Dynamic Environments (FWF Grant P 32055-N31)

Contact: F. Hlawatsch

Duration: 02.2019 - 07.2022

MOBILKOMMUNIKATION / MOBILE COMMUNICATIONS

MAR2020_LEIST

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2019 - 12.2020

MAR2020_26GHZ

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 01.2020 - 12.2020

MAR2021_Coexist

Contact: M. Rupp

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2020 - 12.2021

CD-Labor für Zuverlässige Drahtlose Konnektivität für eine Gesellschaft in Bewegung

Contact: S. Schwarz

Partners: A1 Telekom Austria AG, Nokia Solutions and Networks
ÖBB Infrastruktur AG

Duration: 01.2016 - 12.2022

5G Broadcasting über LTE PMCH

Contact: S. Schwarz

Partner: ORS

Duration: 07.2019 - 12.2020

5G Terrestrial Broadcast in Rel. 16

Contact: S. Schwarz

Partner: ORS

Duration: 11.2020 - 12.2021

A1 Performance Prediction for Hybrid Internet Users

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 09.2019 - 02.2020

A1 Performance in Future Networks: WLAN Home Networks 2020

Contact: P. Svoboda

Partner: A1 Telekom Austria AG

Duration: 02.2020 - 10.2020

Optimization of Wireless Remote Repeater Distribution Systems in Tunnels for Trains

Contact: P. Svoboda

Partner: ÖBB-Infrastruktur AG

Duration: 10.2019 - 04.2020

SEMONE: High Precision Service Performance Maps for Adaptive Mobile Network Optimization (FFG Bridge)

Contact: P. Svoboda

Partner: FFG,
A1 Telekom Austria AG

Duration: 03.2019 - 08.2021

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 - 12.2020

FLEXIBLE FUNKSYSTEME / FLEXIBLE WIRELESS SYSTEMS

Datenfusion von K/X-Band Radar mit visuellen Sensoren für luftgestützte Plattformen DARVIS), TAKE OFF Project No. 867400,

Contact: C. Mecklenbräuker, *Partners:* AIT Austrian Institute of Technology GmbH, PIDSO-Propagation Ideas and Solutions GmbH,
Diamond Aircraft Industries GmbH.

Duration: 04.2019 - 03.2021

Fixed Access Research 2020 (FAR2020)

Contact: C. Mecklenbräuker *Partner:* A1 Telekom Austria AG

Duration: 11.2019 - 05.2021

Intelligent InterSection (IntIntSec), FFG, IKT der Zukunft, 8. Ausschreibung, Project No. 880830,

Contact: C. Mecklenbräuker, *Partners:* TU Wien Institut für Mechanik und Mechatronik, SWARCO Futurit GmbH,
komobile W7 GmbH, ANDATA Entwicklungstechnologie GmbH & Co KG, Kuratorium für Verkehrssicherheit,
Wien Leuchtet (MA33).

Duration: 15.10.2020 - 14.10.2023

Windkraft,

Contact: C. Mecklenbräuker, *Partners:* Dipl.-Ing. Dr. Hermann Bühler GmbH, Bundesministerium für Landesverteidigung,

Duration: 06.2020 - 03.2021

COMMUNICATIONS NETWORKS

TÜV AUSTRIA Research Lab for Safety and Security in Industry (#SafeSecLab)

Contact: T. Zseby

Partner: TÜV AUSTRIA, TU Wien

Duration: 01.2020 - 12.2023

MALORI - MALware cOmmunication in cRitical Infrastructures (FFG KIRAS

Programm, Fördernummer 873511)

Contact: Joachim Fabini

Partners: AIT Austrian Institute of Technology, IKARUS Security
Software GmbH, illwerke vkw AG, Wiener Netze GmbH,

Universität Wien, Institut für Europarecht, Internationales Recht und
Rechtsvergleichung, Bundesministerium für Inneres.

Duration: 1.1.2020 - 31.12.2021

SecTULab - Secure TU Distance Learning Laboratories (TU .dcall Lehre 2020, Project DCL017)

Contact: Joachim Fabini

Partners: TU DigitalOffice, TU.IT.

Duration: 1.10.2020 - 30.6.2021

DISSERTATIONEN / DOCTORAL DISSERTATIONS: (eigene und begutachtete)

S. Homayouni: *"On Machine Learning-based Channel Feedback Reduction in 4G/5G Networks"*; Betreuer/in(nen), Begutachter/in(nen): M. Rupp, A. Tonello, R. Marsalek; E389, 2020; Rigorosum: 26.08.2020.

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

T. Bucco: *"Extended Multi-target Tracking Using Probabilistic Data Association and Bayesian Nonparametric Inference"*;
Betreuer/in(nen): F. Hlawatsch, R. Repp; E389, 2020;
Abschlussprüfung: 18.06.2020.

L. Eller: *"Learning Representations from Crowdsourced Network Benchmarks"*;
Betreuer/in(nen): M. Rupp; Institute of Telecommunications, 2020;
Abschlussprüfung: 20.08.2020.

W. Hofer: *"Agent-based non-intrusive methodology for characterizing reactive mobile communication networks"*;
Betreuer/in(nen): W. Kastner; Institute of Computer Engineering, 2020; Abschlussprüfung: 02.03.2020.

M. Katzensgruber: *"Studying Class Membership Scores in Machine Learning Classification for Imbalanced Binary Data"*;
Betreuer/in(nen): T. Zseby, Felix Vazquez; E389, 2020;
Abschlussprüfung: 24.09.2020.

M. Mussbah: *"Single-Pixel Imaging for Capturing the Shape of three-dimensional Objects"*
Betreuer: N. Görtz; E389, 2020
Abschlussprüfung: 24.02.2020.

R. Pfister: *"Ortung mittels WLAN für Fahrzeuge über die Messung der Paketumlaufzeit"*;
Betreuer/in(nen): C. Mecklenbräuer; E389, 2020;
Abschlussprüfung: 19.11.2020.

V. Platzgummer: *"Mathematische Modellierung und optimale Abstützung eines Großraummanipulators"*;
Betreuer/in(nen): W. Kemmetmüller, M. Meiringer; E376, 2020;
Abschlussprüfung: 19.06.2020.

I. Rezaei: *"Mehrklassen-Clustering mit Clustermarken-Redundanz"*;
Betreuer/in(nen): G. Matz, T. Dittrich; E389, 2020;
Abschlussprüfung: 19.11.2020.

S. Tripkovic: *"Erstellen von Performance Mobilfunk Landkarten aus Open-Data Crowdsourced Messungen"*;
Betreuer/in(nen): M. Rupp, P. Svoboda; E389, 2020;
Abschlussprüfung: 05.06.2020.

ZEITSCHRIFTENARTIKEL / PUBLICATIONS IN SCIENTIFIC JOURNALS

G. Artner; *"Coins as Measure of Size"*; IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, **23** (2020), 2; S. 88 - 93.

G. Artner; *"Keeping Mobile Communication Channels Static With Antenna Counter-Movements"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 40088 - 40095.

G. Artner, C. Mecklenbräuker; *"The Competence-Oriented Teaching of Antennas, Propagation, and Wireless Communications: Enabling Independent Students"*; IEEE Antennas and Propagation Magazine, **62** (2020), 2; S. 43 - 49.

A. Bo, A. F. Molisch, M. Rupp, Z. Zhong; *"5G Key Technologies for Smart Railways"*; Proceedings of the IEEE, **108** (2020), 6; S. 856 - 893.

C. Coronel, C. Wiesmeyr, H. Garn, B. Kohn, M. Wimmer, M. Mandl, M. Glos, T. Penzel, G. Klösch, A. Stefanic-Kejik, M. Böck, E. Kaniusas, S. Seidel; *"3D Camera and pulse oximeter for respiratory events detection"*; IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, **1** (2020), S. 1 - 8.

C. Coronel, C. Wiesmeyr, H. Garn, B. Kohn, M. Wimmer, M. Mandl, M. Glos, T. Penzel, G. Klösch, A. Stefanic-Kejik, M. Böck, E. Kaniusas, S. Seidel; *"Detection of respiratory events by respiratory effort and oxygen desaturation"*; Journal of Medical and Biological Engineering, **1** (2020), S. 1 - 9.

T. Dittrich, G. Matz; *"Signal Processing on Signed Graphs: Fundamentals and Potentials"*; IEEE Signal Processing Magazine, **37** (2020), 6; S. 86 - 98.

J. Dorazil, R. Repp, T. Kropfreiter, R. Prüller, K. Riha, F. Hlawatsch; *"Tracking carotid artery wall motion using an unscented Kalman filter and data fusion"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 222506 - 222519.

D. Gaglione, G. Soldi, P. Braca, G. De Magistris, F. Meyer, F. Hlawatsch; *"Classification-aided multitarget tracking using the sum-product algorithm"*; IEEE Signal Processing Letters, **27** (2020), S. 1710 - 1714.

D. Gaglione, G. Soldi, F. Meyer, F. Hlawatsch, P. Braca, A. Farina, M.Z. Win; *"Bayesian information fusion and multitarget tracking for maritime situational awareness"*; IET Radar, Sonar & Navigation, **14** (2020), 12; S. 1845 - 1857.

M. Gall, H. Garn, B. Kohn, K. Bajic, C. Coronel, S. Seidel, M. Mandl, E. Kaniusas; *"Automated detection of movements during sleep using a 3D Time-of-Flight camera: Design and experimental evaluation"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 109144 - 109155.

M. Harvanek, R. Marsalek, J. Kral, T. Gotthans, J. Blumenstein, M. Pospischil, M. Rupp; *"Adjacent Channel Interference Cancellation in FDM Transmissions"*; IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Regular Papers, **67** (2020), 12; S. 5417 - 5428.

F. Iglesias Vazquez, D. Ferreira, G. Vormayr, M. Bachl, T. Zseby; *"NTARC: A Data Model for the Systematic Review of Network Traffic Analysis Research"*; Applied Sciences, **10** (2020), 12:4307; 23 S.

J. Kral, T. Gotthans, R. Marsalek, J. Harvanek, M. Rupp; *"On Feedback Sample Selection Methods Allowing Lightweight Digital Predistorter Adaptation"*; IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Regular Papers, **6** (2020), 7; S. 1976 - 1988.

T. Kropfreiter, F. Meyer, F. Hlawatsch; *"A Fast Labeled Multi-Bernoulli Filter Using Belief Propagation"*; IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, **56** (2020), 3; S. 2478 - 2488.

- W. Liu, S. Schwarz, M. Rupp, T. Jiang; *"Pairs of Pilots Design for Preamble-Based Channel Estimation in OQAM/FBMC Systems"*; angenommen für IEEE Wireless Communications Letters S. 1 - 5.
- W. Liu, S. Schwarz, M. Rupp, J. Tao; *"Block-wise Preamble Design in OQAM/FBMC Systems with Interference Cancellation"*; IEEE Communications Letters, **early access** (2020), S. 1 - 4.
- W. Liu, S. Schwarz, M. Rupp, J. Tao; *"Preamble power optimization based on intrinsic interference utilization for OQAM/FBMC channel estimation"*; IEEE Transactions on Vehicular Technology, **69** (2020), 11; S. 13556 - 13566.
- W. Liu, S. Schwarz, M. Rupp, J. Tao, D. Chen et al.; *"Preamble-Based Channel Estimation for OQAM/FBMC Systems with Delay Diversity"*; IEEE Transactions on Wireless Communications, **19** (2020), 11; S. 7169 - 7180.
- L. Marijanovic, S. Schwarz, M. Rupp; *"Multiplexing Services in 5G and Beyond: Optimal Resource Allocation based on Mixed Numerology and Mini-Slots"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 209537 - 209555.
- C. Mecklenbräuker, P. Gerstoft, E. Zöchmann, H. Groll; *"Robust estimation of DOA from array data at low SNR"*; Signal Processing, **166** (2020), 107262; S. 1 - 9.
- J. Piñeiro, Z. Huang, X. Cai, T. Bolaño, X. Yin; *"Geometry-based MPC Tracking and Modeling Algorithm for Time-Varying UAV Channels"*; angenommen für IEEE Transactions on Wireless Communications (2020), S. 1 - 16.
- Z. Popovic, G. Artner, G. Lasser, C. Mecklenbräuker; *"Electromagnetic-Wave Fun Using Simple Take-Home Experiments"*; IEEE Antennas and Propagation Magazine, **62** (2020), 2; S. 100 - 106.
- S. Pratschner, T. Blazek, H. Groll, S. Caban, S. Schwarz, M. Rupp; *"Measured User Correlation in Outdoor-to-Indoor Massive MIMO Scenarios"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 178269 - 178282.
- S. Schwarz; *"Recursive CSI Quantization of Time-Correlated MIMO Channels by Deep Learning Classification"*; IEEE Signal Processing Letters, **27** (2020), S. 1799 - 1803.
- S. Schwarz, M. Rupp; *"Reduced Complexity Recursive Grassmannian Quantization"*; IEEE Signal Processing Letters, **27** (2020), S. 321 - 325.
- S. Schwarz, E. Zöchmann, M. K. Müller, K. Guan; *"Dependability of directional millimeter wave vehicle-to-infrastructure communications"*; IEEE Access, **8** (2020), 1; S. 53162 - 53171.
- F. Skopik, M. Landauer, M. Wurzenberger, G. Vormayr, J. Milosevic, J. Fabini, W. Prügler, O. Kruschitz, B. Widmann, K. Truckenthanner, S. Rass, M. Simmer, C. Zauner; *"synERGY: Cross-correlation of operational and contextual data to timely detect and mitigate attacks to cyber-physical systems"*; Journal of Information Security and Applications, **54** (2020), S. 102544 - 102566.
- B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp; *"Analysis of Uplink IRS-Assisted NOMA under Nakagami-m Fading via Moments Matching"*; angenommen für IEEE Wireless Communications Letters (2020).
- O. Trindade, T. Berisha, P. Svoboda, E. Bura, C. Mecklenbräuker; *"Assessment of Treatment Influence in Mobile Network Coverage on board High-Speed Trains"*; IEEE Access, **8** (2020), S. 162945 - 162960.
- G. Vormayr, J. Fabini, T. Zseby; *"Why are My Flows Different? A Tutorial on Flow Exporters"*; IEEE Communications Surveys & Tutorials, **22** (2020), 3; S. 2064 - 2103.

EDITORIALS IN WISS. ZEITSCHRIFTEN / EDITORIALS IN SCIENTIFIC JOURNALS

A. Alujas Roperro, S. Schwarz: *"Implementation of 5G broad-/ multi-casting features to support video broadcasting and cellular assisted vehicular communications"*; Bericht für Universitat Politècnica de Catalunya; 2020; 43 S.

M. Lechado, S. Schwarz: *"Implementation of traffic model for different types of applications and development of QoS aware resource schedulers"*; Bericht für Universitat Politècnica de Catalunya; 2020; 43 S.

S. Schwarz: *"Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion: 5-Years Evaluation Report"*; Bericht für Christian Dpppler Forschungsgesellschaft; 2020; 103 S.

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

M. Rupp, B. Tahir: *"Wireless Communications of the Future"*; Hauptvortrag: International Conference on Smart Systems and Transport, Osijek, Croatia (eingeladen); 14.10.2020 - 16.10.2020.

M. Rupp, B. Tahir: *"Wireless Communications of the Future"*; Hauptvortrag: ITSRC Conference, Bratislava (eingeladen); 22.04.2020.

M. Rupp, B. Tahir: *"Wireless Communications of the Future"*; Vortrag: Seminar TU Dresden, Dresden, Germany (eingeladen); 13.01.2020.

B. Isemann, C. Mecklenbräuker, M. Kastelic, Radio-Amateur-Klub der TU Wien: *Wideband Digital Transmission in the 6m Band – Last Mile for HAMNET™*; Vortrag: Ham Radio, Friedrichshafen, Deutschland (eingeladen); 26.06.2020 - 28.06.2020.

C. Mecklenbräuker, S. Zhao: *"Shape Your Desired Wireless Propagation with Reconfigurable Intelligent Surfaces"*; Hauptvortrag: ChaseOn and GHz Centre Day, Göteborg, Schweden (eingeladen); 18.11.2020.

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

M. Ashury, C. Eliasch, T. Blazek, C. Mecklenbräuker: *"Accuracy Requirements for Cooperative Radar with Sensor Fusion"*; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020), Kopenhagen, Dänemark; 15.03.2020 - 20.03.2020; in: *"Proceedings of the 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020)"*, (2020), S. 1 - 5.

M. Bachl, J. Fabini, T. Zseby: *"LFQ: Online Learning of Per-flow Queuing Policies using Deep Reinforcement Learning"*; Vortrag: 45th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Sydney, Australia; 16.11.2020 - 19.11.2020; in: *"45th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)"*, IEEE, (2020), S. 1 - 4.

M. Bachl, A. Hartl, J. Fabini, T. Zseby: *"Walling up Backdoors in Intrusion Detection Systems"*; Vortrag: 1st ITG Workshop on IT Security (ITSec), Tübingen, Deutschland; 02.04.2020 - 03.04.2020.

M. Bachl, F. Meghdouri, J. Fabini, T. Zseby: "*SparseIDS: Learning Packet Sampling with Reinforcement Learning*"; Vortrag: IEEE SPC 2020 - Sixth Workshop on Security and Privacy in the Cloud (SPC), Avignon, France; 01.07.2020; in: "*2020 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*", IEEE, (2020), S. 1 - 9.

A. Bazzi, T. Blazek, M. Menarini, B. Masini, A. Zanella, C. Mecklenbräuker, G. Ghiaasi: "*A Hardware-in-the-Loop Evaluation of the Impact of the V2X Channel on the Traffic-Safety Versus Efficiency Trade-offs*"; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020), Kopenhagen, Dänemark; 15.03.2020 - 20.03.2020; in: "*Proceedings of the 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*", (2020), S. 1 - 5.

T. Blazek, D. Radovic: "*Performance Evaluation of OTFS Over Measured V2V Channels at 60 GHz*"; Vortrag: 2020 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Linz; 20.04.2020 - 21.04.2020; in: "*2020 IEEE MTT-S International Conferences on Microwaves for Intelligent Mobility, Linz, Austria*", (2020), ISBN: 978-1-7281-6756-5; 4 S.

C. Coroneil, C. Wiesmeyer, H. Garn, B. Kohn, A. Naghibzadeh-Jalali, A. Schindler, M. Wimmer, M. Mandl, M. Glos, T. Penzel, G. Klösch, A. Stefanic-Kejik, M. Böck, E. Kaniusas, S. Seidel: "*Comparison of PSG signals and respiratory movement signal via 3D camera in detecting sleep respiratory events by LSTM models*"; Vortrag: Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2020 (APSIPA ASC 2020), Auckland, New Zealand; 07.12.2020 - 10.12.2020; in: "*Proceedings of the Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2020 (APSIPA ASC 2020)*", 1088 (2020), ISBN: 978-988-14768-8-3; S. 919 - 923.

J. Dorazil, R. Repp, T. Kropfreiter, R. Prüller, K. Riha, F. Hlawatsch: "*Feature drift resilient tracking of the carotid artery wall using unscented Kalman filtering with data fusion*"; Vortrag: 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Barcelona Spain (virtual); 04.05.2020 - 08.05.2020; in: "*Ieee Icassp 2020*", IEEE, (2020), ISBN: 978-1-5090-6631-5; S. 1095 - 1099.

L. Eller, P. Svoboda, M. Rupp: "*Semi-Supervised Detection of Tariff Limits in LTE Network Benchmarks*"; Vortrag: Online Conference 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), Antwerp; 25.05.2020 - 28.05.2020; in: "*2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*", IEEE (Hrg.); (2020), ISBN: 978-1-7281-5207-3; 7 S.

R. Fischer, C. Sippel, N. Görtz: "*VAMP with Vector-Valued Diagonalization*"; Vortrag: 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Barcelona Spain (virtual); 04.05.2020 - 08.05.2020; in: "*2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*", IEEE, (2020), ISBN: 978-1-5090-6631-5; S. 9110 - 9114.

P. Gerstoft, C. Mecklenbräuker, S. Nannuru, G. Leus: "*DOA Estimation in Heteroscedastic Noise with Sparse Bayesian Learning*"; Poster: International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium, Monterey (CA), USA; 22.03.2020 - 26.03.2020; in: "*2020 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES 2020)*", (2020).

N. Görtz, S. C. Birgmeier: "*Sparse Measurement Matrices for Compressed-Sensing Recovery by Bayesian Approximate Message Passing*"; Vortrag: 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), Hamburg, Deutschland; 18.02.2020 - 20.02.2020; in: "*24th International ITG Workshop on Smart Antennas*", VDE, (2020), ISBN: 978-3-8007-5200-3; S. 1 - 6.

L. Hao, S. Schwarz et al.: "*Measurement-based Double-Directional Polarimetric Characterization of Outdoor Massive MIMO Propagation Channels at 3.5GHz*"; Poster: IEEE International Workshop on Signal Processing Advances for Wireless Communications (SPAWC), Atlanta, USA; 26.05.2020 - 29.05.2020; in: "*Proc IEEE International Workshop on Signal Processing Advances for Wireless Communications (SPAWC)*", (2020), S. 1 - 5.

A. Hartl, M. Bachl, J. Fabini, T. Zseby: "*Explainability and Adversarial Robustness for RNNs*"; Vortrag: The Sixth IEEE International Conference on Big Data Computing Service and Machine Learning Applications, Oxford, United Kingdom; 03.08.2020 - 06.08.2020; in: "*The Sixth IEEE International Conference on Big Data Computing Service and Machine Learning Applications*", IEEE, (2020), ISBN: 978-1-7281-7022-0; S. 148 - 156.

A. Hartl, F. Iglesias Vazquez, T. Zseby: "*SDOstream: Low-Density Models for Streaming Outlier Detection*"; Poster: 28th European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning, Bruges, Belgium; 02.10.2020 - 04.10.2020; in: "*ESANN 2020 - Proceedings*", i6doc.com, Belgium (2020), ISBN: 978-2-87587-074-2; S. 661 - 666.

W. Hofer, P. Svoboda, W. Kastner, V. Raida, M. Rupp: "*Open Monitoring Platform for Mobile Broadband*"; Vortrag: Online Conference 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), Antwerp, Belgium; 25.05.2020 - 31.07.2020; in: "*IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*", IEEE (Hrsg.); (2020), 5 S.

F. Iglesias Vazquez, A. Hartl, T. Zseby, A. Zimek: "*Are Network Attacks Outliers? A Study of Space Representations and Unsupervised Algorithms*"; Vortrag: MLCS Workshop on Machine Learning for CyberSecurity, ECMLPKDD, Würzburg, Germany; 16.09.2019 - 20.09.2019; in: "*ECML PKDD 2019: Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*", Communications in Computer and Information Science, 1168 (2020), ISBN: 978-3-030-43887-6; S. 159 - 175.

F. Iglesias Vazquez, D. Ojdanic, A. Hartl, T. Zseby: "*MDCStream: Stream Data Generator for Testing Analysis Algorithms*"; Vortrag: EAI Valuetools 2020, Tsukuba, Japan; 18.05.2020 - 20.05.2020; in: "*Proceedings of the 13th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*", Association for Computing Machinery, Tsukuba, Japan (2020), ISBN: 9781450376464; S. 56 - 63.

F. Iglesias Vazquez, T. Zseby, A. Zimek: "*Interpretability and Refinement of Clustering*"; Vortrag: IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), Sydney, Australia; 06.09.2020 - 09.09.2020; in: "*Proceedings of the 7th DSAA 2020*", (2020), ISBN: 978-1-7281-8206-3; S. 21 - 29.

K. Kirev, S. Schwarz: "*Investigation of Optimal MCS and Subcarrier Spacing in MBSFN Systems*"; Poster: 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), Hamburg, Deutschland; 18.02.2020 - 20.02.2020; in: "*Proc. of 24rd International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020)*", (2020), S. 1 - 6.

T. Kropfreiter, F. Hlawatsch: "*A Probabilistic Label Association Algorithm for Distributed Labeled Multi-Bernoulli Filtering*"; Vortrag: IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION-20), Rustenburg, South Africa; 06.07.2020 - 09.07.2020; in: "*FUSION-20*", (2020), S. # - ?.

E. Leitinger, S. Grebien, B. Fleury, K. Witrisal: "*Detection of a Spectral Line in MIMO Systems*"; Vortrag: 2020 54th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (ACSSC 2020), Pacific Grove, CA, USA; 01.11.2020 - 04.11.2020; in: "*Proc. 2020 54th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers (ACSSC 2020)*", (2020).

M. Lobinger, K. Niederwanger, S. Schwarz: "*Performance Analysis of Beam-Switching using One-dimensional Antenna Arrays*"; Vortrag: 2020 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Linz; 20.04.2020 - 21.04.2020; in: "*2020 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)*", (2020), ISBN: 978-1-7281-6755-8; S. 1 - 4.

R. Marsalek, J. Blumenstein, D. Schützenhöfer, M. Pospíšil: "*OTFS Modulation and Influence of Wideband RF Impairments Measured on a 60 GHz Testbed*"; Vortrag: IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications 2020 (SPAWC 2020), Atlanta; 26.05.2020 - 29.05.2020; in: "*2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*", (2020), ISBN: 978-1-7281-5479-4; S. 1 - 5.

- G. Matz, T. Dittrich: "*Learning Signed Graphs from Data*"; Vortrag: ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Barcelona; 04.05.2020 - 08.05.2020; in: "*ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*", IEEE, (2020), 5 S.
- F. Meghdouri, M. Bachl, T. Zseby: "*EagerNet: Early Predictions of Neural Networks for Computationally Efficient Intrusion Detection*"; Vortrag: 2020 4th Cyber Security in Networking Conference (CSNet), Lausanne, Switzerland; 21.10.2020 - 23.10.2020; in: "*2020 4th Cyber Security in Networking Conference (CSNet)*", IEEE, (2020), S. 1 - 7.
- F. Meghdouri, F. Iglesias Vazquez, T. Zseby: "*Anomaly Detection for Mixed Packet Sequences*"; Vortrag: 45th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), Sydney, Australia; 16.11.2020 - 19.11.2020; in: "*Proceedings of the 45th LCN Symposium 2020*", (2020), ISBN: 978-1-7281-8314-5; S. 120 - 130.
- F. Meghdouri, F. Iglesias Vazquez, T. Zseby: "*Cross-Layer Profiling of Encrypted Network Data for Anomaly Detection*"; Vortrag: IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), Sydney, Australia; 06.09.2020 - 09.09.2020; in: "*Proceedings of the 7th DSAA 2020*", (2020), ISBN: 978-1-7281-8206-3; S. 469 - 478.
- C. Mendoza, S. Schwarz, M. Rupp: "*Cluster Formation in Scalable Cell-free Massive MIMO Networks*"; Vortrag: Seventh International Workshop on Cooperative Wireless Networks - 2020, Thessaloniki, Greece; 12.10.2020; in: "*2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*", IEEE, (2020), S. 62 - 67.
- A. Nabavi, S. Schwarz: "*Performance Analysis of Repeater-Aided Millimeter Wave Urban Mobile Communication Networks*"; Vortrag: 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), Hamburg, Deutschland; 18.02.2020 - 20.02.2020; in: "*Proc. of 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020)*", (2020), ISBN: 978-3-8007-5200-3; S. 1 - 4.
- G. Pichler, J. Dolz, I. Ben Ayed, P. Piantanida: "*On Direct Distribution Matching for Adapting Segmentation Networks*"; Poster: Medical Imaging with Deep Learning 2020, Montreal, Canada; 06.07.2020 - 09.07.2020.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Koglbauer, M. Rupp: "*On the Stability of RSRP and Variability of Other KPIs in LTE Downlink - An Open Dataset*"; Vortrag: IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020), Taipei, Taiwan; 08.12.2020 - 10.12.2020; in: "*IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020)*", IEEE (Hrg.); (2020), 6 S.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Rupp: "*Modified Dynamic Time Warping with a Reference Path for Alignment of Repeated Drive-Tests*"; Vortrag: Online Conference 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, Canada; 18.11.2020 - 16.12.2020; in: "*IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall)*", IEEE (Hrg.); (2020), 6 S.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Rupp: "*On the Inappropriateness of Static Measurements for Benchmarking in Wireless Networks*"; Vortrag: Online Conference 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), Antwerp, Belgium; 25.05.2020 - 31.07.2020; in: "*IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*", IEEE (Hrg.); (2020), 5 S.
- V. Raida, P. Svoboda, M. Rupp: "*Real World Performance of LTE Downlink in a Static Dense Urban Scenario - An Open Dataset*"; Vortrag: IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020), Taipei, Taiwan; 08.12.2020 - 10.12.2020; in: "*IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020)*", IEEE (Hrg.); (2020), 6 S.
- B. Ramos Elbal, S. Schwarz, M. Rupp: "*Relay Selection and Coverage Analysis of Relay Assisted V2I Links in Microcellular Urban Networks*"; Vortrag: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Korea (virtual); 25.05.2020 - 28.05.2020; in: "*2020 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*", IEEE (Hrg.); (2020), ISBN: 978-1-7281-3107-8; 7 S.

L. Ribeiro, S. Schwarz, A. Almeida, M. Haardt: "*Low-Complexity Massive MIMO Tensor Precoding*"; als Vortrag angenommen für: Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, Pacific Grove, CA; 01.11.2020 - 05.11.2020; in: "*Proc. Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*", (2020), S. 1 - 8.

A. Salihu, S. Schwarz, A. Pikrakis, M. Rupp: "*Low-dimensional Representation Learning for Wireless CSI-based Localisation*"; Vortrag: IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2020), Thessaloniki, Greece; 12.10.2020 - 14.10.2020; in: "*Proceedings of International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2020)*", IEEE, (2020).

A. Salihu, S. Schwarz, M. Rupp: "*Semi-supervised Localisation utilizing CSI at Large Antenna Array Base Stations*"; Vortrag: 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), Hamburg, Deutschland; 18.02.2020 - 20.02.2020; in: "*Proceedings of 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020)*", IEEE, (2020), ISBN: 978-3-8007-5200-3; S. 1 - 5.

D. Schützenhöfer, S. Pratschner, H. Groll, M. Rupp: "*Channel Rank Analysis of an Outdoor-to-Indoor Massive MIMO Measurement*"; Vortrag: IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications 2020 (SPAWC 2020), Atlanta; 26.05.2020 - 29.05.2020; in: "*2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*", (2020), ISBN: 978-1-7281-5479-4; S. 1 - 5.

S. Schwarz, M. Rupp: "*Dependability Enhancements for Transmission over MISO TWDP Fading Channels*"; Poster: IEEE International Workshop on Signal Processing Advances for Wireless Communications (SPAWC), Atlanta, USA; 26.05.2020 - 29.05.2020; in: "*Proc IEEE International Workshop on Signal Processing Advances for Wireless Communications (SPAWC)*", (2020), S. 1 - 5.

B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: "*Collision Resilient V2X Communication via Grant-Free NOMA*"; Vortrag: 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2020), Amsterdam, NL; 24.08.2020 - 28.08.2020; in: "*Proceedings of the 28th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*", (2020), ISBN: 978-9-0827-9705-3; S. 1732 - 1736.

B. Tahir, S. Schwarz, M. Rupp: "*Low-Complexity Detection of Uplink NOMA by Exploiting Properties of the Propagation Channel*"; Vortrag: IEEE International Conference on Communications (ICC 2020), Dublin, Ireland; 07.06.2020 - 11.06.2020; in: "*Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2020)*", IEEE, (2020), ISBN: 978-1-7281-5089-5.

M. Zane, M. Rupp, S. Schwarz: "*Performance Investigation of Angle of Arrival based Localization*"; Poster: 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), Hamburg, Deutschland; 18.02.2020 - 20.02.2020; in: "*Proc. of 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020)*", Vde Verlag Gmbh, (2020), ISBN: 978-3-8007-5200-3; 4 S.

E. Zöchmann, T. Mathiesen, T. Blazek, H. Groll, G. Ghiaasi: "*A Bandwidth Scalable Millimetre Wave Over-The-Air Test System with Low Complexity*"; Vortrag: European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020), Kopenhagen, Dänemark; 15.03.2020 - 20.03.2020; in: "*Proceedings of the 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2020)*", (2020), 5 S.

WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE / SCIENTIFIC REPORTS

A. Alujas Roper, S. Schwarz: *"Implementation of 5G broad-/ multi-casting features to support video broadcasting and cellular assisted vehicular communications"*; Bericht für Universitat Politècnica de Catalunya; 2020; 43 S.

M. Lechado, S. Schwarz: *"Implementation of traffic model for different types of applications and development of QoS aware resource schedulers"*; Bericht für Universitat Politècnica de Catalunya; 2020; 43 S.

S. Schwarz: *"Dependable Wireless Connectivity for the Society in Motion: 5-Years Evaluation Report"*; Bericht für Christian Doppler Forschungsgesellschaft; 2020; 103 S.