

# 30. Rhein-Ruhr-Workshop

Bestwig, 31. Januar - 1. Februar 2020

-Programm, Teilnehmer und Abstracts-



## Organisation:

Prof. Dr. G. Plonka-Hoch

Prof. Dr. T. Sauer

Prof. Dr. M. Skrzipek

Universität Göttingen

Universität Passau

FernUniversität in Hagen

**30. Rhein-Ruhr-Workshop**  
**Bestwig, 31.Januar–1. Februar 2020**  
**PROGRAMM**

**Freitag, 31. Januar 2020, Vormittag**

10.50	<i>Begrüßung / Organisatorisches</i>
	<i>Sektionsleitung: M. Skrzipek</i>
11.00	<b>T. Sauer</b> (Universität Passau) Continued fractions and Kronecker's theorem
11.30	<b>K. Bouaraba</b> (Technische Universität Darmstadt) Blended Spline Graphs: A new Paradigm for Curve and Surface Modeling
12.00	<i>Gemeinsames Mittagessen</i>

**Freitag, 31. Januar 2020, Nachmittag**

	<i>Sektionsleitung: G. Plonka-Hoch</i>
14.00	<b>D. Hage</b> (Universität Siegen) Neue Lösungsstrategien für $l_1$ -Minimierungsprobleme mit Kalman Filter
14.30	<b>O. Melnyk</b> (Helmholz-Zentrum München) Angular Synchronization: setup, relaxations and newest error bounds
15.00	<i>Pause mit Kaffee, Tee, Kuchen</i>
	<i>Sektionsleitung: F. Filbir</i>
15.45	<b>I. Keller</b> (Universität Göttingen) Generalizations and Applications of Prony's Method
16.15	<b>D. Nagel</b> (Universität Osnabrück) The condition number of Vandermonde matrices with clustered nodes
16.45	<i>Pause</i>
	<i>Sektionsleitung: E. Berdysheva</i>
17.00	<b>N. Wagner</b> (Universität Hamburg) Laplacian Matrices for Image Compression by Adaptive Thinning
17.30	<b>F. Bartel</b> (Technische Universität Chemnitz) Fast Cross-validation in Harmonic Approximation
18.00	<i>Gemeinsames Abendessen</i>

19.00	<b>Präsentation der Poster</b>	
	<b>L. Liehr</b> (Helmholz-Zentrum München) Reconstruction of Signals from Truncated Phaseless Measurements	<b>G. Reitberger</b> (Universität Passau) Detecting Intentions of Vulnerable Road Users Based on Collective Intelligence
	<b>A. M. Stock</b> (Universität Passau) Compressing Large Computerized Tomography Data Using Wavelets	

**Samstag, 1. Februar 2020**

8.00	<i>Frühstück</i>
	<i>Sektionsleitung: M. Heilmann</i>
9.00	<b>S. Heuer</b> (Universität Marburg) Vogelstimmenerkennung mittels Gabor-Frames
9.30	<b>A. Dietz</b> (Technische Universität Darmstadt) Integration über Subdivisionsflächen mit Singularitäten
10.00	<i>Pause mit Kaffee, Tee</i>
	<i>Sektionsleitung: T. Sauer</i>
10.30	<b>M. Hockmann</b> (Universität Osnabrück) Super-resolution analysis of structured illumination microscopy
11.00	<b>T. Neuschel</b> (Universität Bielefeld) Universelles Verhalten nichtkollidierender Brownscher Bewegungen
11.30	<i>Gemeinsames Mittagessen</i>

**Dauer der Vorträge:** 30 Minuten, einschließlich Diskussionszeit.

## TEILNEHMERLISTE RRW 2020

ABEL, Ulrich	Technische Hochschule Mittelhessen	ulrich.abel@mnd.thm.de
BARTEL, Felix	Universität Chemnitz	felix.bartel@mathematik.tu-chemnitz.de
BERDYSHEVA, Elena	Universität Gießen	Elena.Berdysheva@math.uni-giessen.de
BOUARABA, Kai	Technische Universität Darmstadt	bouaraba@mathematik.tu-darmstadt.de
DIETZ, Alexander	Technische Universität Darmstadt	dietz@mathematik.tu-darmstadt.de
FILBIR, Frank	Helmholz-Zentrum München	frank_filbir@web.de
GAWRONSKI, Wolfgang	Universität Trier	gawron@uni-trier.de
GONSKA, Heiner	Universität Duisburg-Essen	heiner.gonska@uni-due.de
HAGE, Dunja Alexandra	Universität Siegen	hage@zess.uni-siegen.de
HEILMANN, Margareta	Universität Wuppertal	heilmann@math.uni-wuppertal.de
HEUER, Sven	Universität Marburg	heuersv@mathematik.uni-marburg.de
HOCKMANN, Mathias	Universität Osnabrück	mathias.hockmann@uni-osnabrueck.de
KELLER, Ingeborg	Universität Göttingen	i.keller@math.uni-goettingen.de
LANG, Thomas	Universität Passau	langthom@forwiss.uni-passau.de
LIEHR, Lukas	Helmholz-Zentrum München	lukas.liehr@tum.de
MELNYK, Oleh	Helmholz-Zentrum München	oleh.melnyk@tum.de
NAGEL, Dominik	Universität Osnabrück	dominik.nagel@uni-osnabrueck.de
NEUSCHEL, Thorsten	Universität Bielefeld	thorsten.neuschel@math.uni-bielefeld.de
PLONKA-HOCH, Gerlind	Universität Göttingen	plonka@math.uni-goettingen.de
REIF, Ulrich	Technische Universität Darmstadt	reif@mathematik.tu-darmstadt.de
REITBERGER, Günther	Universität Passau	reitberg@forwiss.uni-passau.de
SAUER, Tomas	Universität Passau	tomas.sauer@uni-passau.de
SKRZIPEK, Michael	Fernuniversität in Hagen	michael.skrzipek@fernuni-hagen.de
STOCK, Andreas Michael	Universität Passau	stock@forwiss.uni-passau.de
WAGNER, Niklas	Universität Hamburg	Niklas.Wagner@uni-hamburg.de
WASCHBICHLER, Florian	Universität Passau	Florian.Waschbichler@uni-passau.de

# Fast Cross-validation in Harmonic Approximation

Felix Bartel

Ralf Hielscher

Daniel Potts

Schlecht gestellte inverse Probleme erfordern oft die Minimierung eines Tikhonov-Funktionalen. Die erreichbare Approximationsgüte hängt hierbei wesentlich von der Wahl des Regularisierungsparameters ab. Leave-one-out Cross-validation ist ein Schätzer der Approximationsgüte, welcher ausschließlich die verrauschten Funktionswerte nutzt, aber mit hohem Rechenaufwand verbunden ist. Im Fall von Spline-Approximation kann der Rechenaufwand mithilfe der Sherman-Morrison Formel dramatisch reduziert werden. In unserem Vortrag erweitern wir diese Idee auf andere Mannigfaltigkeiten, wie den  $d$ -dimensionalen Torus, das Einheitsintervall, die zweidimensionale Sphäre und die Rotationsgruppe. Falls die gegebenen Knoten einer Quadraturregel angehören, können wir den Cross-validation score bis auf Maschinengenauigkeit effizient berechnen. Für zufällige Knoten, entwickeln wir einen Algorithmus, welcher eine Annäherung an den Cross-validation score berechnet und dabei die gleiche Komplexität beibehält. Mithilfe schneller Fourier-Algorithmen bestätigen wir in numerischen Experimenten die Anwendbarkeit unserer Algorithmen.

# Blended Spline Graphs: A new Paradigm for Curve and Surface Modeling

Kai Bouaraba

TU Darmstadt

bouaraba@mathematik.tu-darmstadt.de

Für die Simulation von Mehrphasenströmungen ist ein geometrisches Modell der Oberfläche von Flüssigkeiten notwendig. Dieses muss sowohl Zugriff auf Volumina und Krümmungen bieten als auch mit Topologie-Wechseln umgehen können. In diesem Vortrag wird die Blended Spline Graphs (BSG) Methode vorgestellt, ein völlig neuer Ansatz, welcher diese Ziele ermöglichen soll.

In der BSG Methode werden Objekte lokal durch Spline-Graphen dargestellt, welche in Überlappungsbereichen zusammengeblendet werden. Das genaue Vorgehen sehen wir uns am Beispiel von implizit gegebenen Kurven und Flächen an.

The simulation of multiphase flow systems requires a geometric model for the surface of fluids. This model needs to provide access to volumes and curvatures and further be able to deal with topological changes. In this talk we present the Blended Spline Graphs (BSG) method, a brand-new approach targeting these goals.

In the BSG method, objects are being represented by spline graphs which are blended together within overlapping regions. We will take a look at the process in detail along the example of implicitly given curves and surfaces.

## **Integration über Subdivisionsflächen mit Singularitäten**

Alexander Dietz

Subdivisionsflächen werden derzeit vor allem in der Computergrafik eingesetzt. Wir beschäftigen uns in diesem Vortrag mit der Integration von Funktionen über Subdivisionsflächen und gehen dabei insbesondere auf die Integration von Patches mit singulären Punkten ein. Hierfür stellen wir verschiedene Methoden vor und vergleichen diese. Langfristiges Ziel ist es, diese auch für Simulationen zu verwenden.

# Neue Lösungsstrategien für $\ell_1$ -Minimierungsprobleme mit Kalman Filter

Dunja Alexandra Hage

Zentrum für Sensorsysteme (ZESS)  
Universität Siegen

In vielen Anwendungen gewinnt die Rekonstruktion von sparsen Signalen zunehmend an Bedeutung. Auf dem breiten Forschungsgebiet Compressed Sensing existieren bereits viele Algorithmen zur Rekonstruktion sparser Signale. Die meisten Berechnungen zum Auffinden solcher Lösungen werden durch eingebaute Thresholdingverfahren unterstützt.

In dieser Arbeit untersuchen wir neue Resultate zur Rekonstruktion sparser Signale via  $\ell_1$ -Minimierung unter Verwendung des Kalman Filters. Mit einem externen Thresholding, der nicht das Kalman Filter direkt beeinflusst, können wir das sparse Signal effektiv und effizient rekonstruieren. Unter gewissen Bedingungen an die Sensingmatrix beobachten wir eine stabile, exakte und wesentlich schnellere Rekonstruktion als z.B. der primal-dual Algorithmus von Chambolle & Pock und sogar OMP (Orthogonal Matching Pursuit).

## References

- [1] Loffeld, O., Seel, A., Heredia Conde, M., Wang, L.: Sparse CS reconstruction by nullspace based  $\ell_1$  minimizing Kalman filtering. 2016 International Conference on Communications (COMM), Bucharest, Romania, 9-10 June, 2016, pp. 449-454.
- [2] Loffeld, O., Seel, A., Heredia Conde, M., Wang, L.: A Nullspace Based  $\ell_1$  Minimizing Kalman Filter Approach to Sparse CS Reconstruction. *11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2016)*, Germany, 6-9 June, 2016, pp. 1-5.
- [3] Heredia Conde, M. : Compressive Sensing for the Photonic Mixer Device - Fundamentals, Methods and Results. Springer Vieweg, 2017, doi:10.1007/978-3-658-18057-7, isbn: 978-3-658-18056-0.
- [4] A. Chambolle and T. Pock: A First-Order Primal-Dual Algorithm for Convex Problems with Applications to Imaging. In: J. Math. Imaging Vis. 40.1 (May 2011), pp. 120-145. issn: 0924-9907.

- [5] Y. C. Pati, R. Rezaiifar, and P. S. Krishnaprasad: Orthogonal matching pursuit: Recursive function approximation with applications to wavelet decomposition. *Proc. Asilomar Conf. Signals, Syst. Comput.*, pp.40-44, 1993.
- [6] J. Tropp and A. Gilbert: Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit. *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no. 12, pp. 4655-4666, Dec. 2007.

## Vogelstimmenerkennung mittels Gabor-Frames

Sven Heuer

Effektive Strategien zum Schutz der Artenvielfalt, zum Beispiel von Vögeln, erfordern eine akkurate Ermittlung des Status Quo für die zu schützenden Arten. Zu diesem Zweck untersuchen wir Audioaufnahmen unter der Fragestellung, welche Vogelarten wir in ihnen hören können. Dazu gehört die Detektion von Segmenten mit Signal, sowie die Klassifizierung dieser.

Wir nutzen die Gabor-Transformation, um die relevanten Eigenschaften der aufgenommenen Sequenzen besonders effektiv darzustellen. Mithilfe eigener Entrauschungsverfahren und Methoden zur Signaldetektion bestimmen wir relevante Ausschnitte, auf welchen wir ein Convolutional Neural Network (CNN) für das Klassifikationsproblem trainieren.

Des Weiteren nutzen wir die Eigenschaften von Gabor-Frames, um optimale Verfahren zur Kompression von Audioaufnahmen, sowie zur Lösung von Variationsproblemen über Modulationsräumen zu erschließen.

## **Super-resolution analysis of structured illumination microscopy**

MATHIAS HOCKMANN

*Osnabrück University*

Although physicists found a theoretic lower bound for the resolution of light microscopes in the 19th century, many researchers developed methods to overcome this diffraction limit in the last decades. Structured illumination microscopy is one of these inventions and it became a widely used tool in biological and medical applications. At the beginning of this talk, we will present the fundamental physical background of the method. Afterwards, we will focus on the mathematics of the underlying imaging algorithm. In particular, the case of sparsely labelled samples will be addressed.

# Generalizations and Applications of Prony's method

Ingeborg Keller  
University of Goettingen  
`i.keller@math.uni-goettingen.de`

In many applications the reconstruction of signals which are or can be approximated by a sum of sparse expansion of certain atoms is an often encountered problem. The most well-studied signal model is the sparse expansion into complex exponentials, i.e.,

$$f(x) := \sum_{j=1}^m c_j e^{T_j x} = \sum_{j=1}^M c_j z_j^x$$

with  $c_j \in \mathbb{C} \setminus \{0\}$ ,  $T_j \in \mathbb{C}$  and  $z_j = e^{T_j}$ . The signals can be reconstructed using Prony's method and  $2M$  equidistant samples  $f(\ell)$  for  $\ell = 0, \dots, 2M - 1$ . In this recent years Peter & Plonka derived a generalized Prony method for the reconstruction of sparse expansions of eigenfunctions of suitable linear operators using only a small number of suitable sample values. Although some examples were given by Peter & Plonka the problem of finding such operators is non-trivial.

In this talk we look at different possible linear operators and their corresponding eigenvalues such as generalizations of shift operators and differential operators and explain the connection between the different models. In particular, we present a way to use these operators in order to reconstruct signal models such as arbitrary linear combinations of Gaussians, non-stationary trigonometric expansions with a special monotone phase function as well as orthogonal polynomials via the generalized Prony method.

This is joint work with Gerlind Plonka (University of Goettingen) & Kilian Stampfer (University of Goettingen).

## References

- [1] G. Plonka and T. Peter. *A generalized Prony method for reconstruction of sparse sums of eigenfunctions of linear operators*. Inverse Problems 29, 025001, 2013.
- [2] K. Stampfer, G. Plonka and I. Keller *Reconstruction of stationary and non-stationary signals by the generalized Prony method*. Analysis and Applications 17(2) (2019), 179–210.

## Direct inversion of the NFFT

MELANIE KIRCHEIS  
*Technische Universität Chemnitz*

The NFFT, short hand for nonequispaced fast Fourier transform, is a fast algorithm to evaluate a trigonometric polynomial

$$f(x) = \sum_{k=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} \hat{f}_k e^{2\pi i k x}$$

at nonequispaced points  $x_j \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}]$ ,  $j = 1, \dots, N$ . In case we are given equispaced points and  $M = N$ , this evaluation can be realized by means of the FFT, a fast algorithm that is invertible. Hence, we are interested in an inversion also for nonequispaced data, i.e., the Fourier coefficients  $\hat{f}_k$  shall be computed for given function values  $f(x_j)$ .

For this purpose, we use the matrix representation of the NFFT to derive a direct algorithm. Thereby, we are able to compute an inverse NFFT by dint of a modified adjoint NFFT. Finally, we show that this approach can also be explained by means of frame approximation.

This is joint work with Daniel Potts.

# Reconstruction of Signals from Truncated Phaseless Measurements

Lukas Liehr

*Applied Numerical Analysis  
Department of Mathematics  
Technische Universität München*

## Abstract

In many applications such as diffraction imaging one aims to reconstruct a compactly supported signal  $f \in L^2(\mathbb{R})$  from the absolute value of its Fourier transform  $|\hat{f}|$ . The data  $|\hat{f}(\xi)|$ ,  $\xi \in \mathbb{R}$ , represent intensities measured by a CCD sensor. The sensor is obviously unable to cover the entire frequency domain and thus creates a truncation, i.e. the measurement is compactly supported. In this work we examine how a truncation of the Fourier measurements affect the phase reconstruction of  $f$ . Mathematically, this problem can be formulated as follows.

Let  $f \in L^2(\mathbb{R})$  be compactly supported and consider the decomposition  $f(t) = e^{i\theta(t)}|f(t)|$ , where

$$\theta : \{t \in \mathbb{R} \mid f(t) \neq 0\} \rightarrow \mathbb{R}/2\pi\mathbb{Z}$$

is the phase function of  $f$ . For a constant  $W > 0$ , we define  $f_W = (\chi_{[-W,W]}\hat{f})^\vee$ , i.e.  $f_W$  arises from  $f$  by bandlimiting. The multiplication by the characteristic function  $\chi_{[-W,W]}$  represents a truncation in Fourier space. Again, we write  $f_W(t) = e^{i\theta_W(t)}|f_W(t)|$  where  $\theta_W$  is the corresponding phase function of  $f_W$ . The task is to find assumptions on  $f$  which yield a bound on  $|\theta - \theta_W|$ . We give explicit estimates on this distance and state the corresponding assumptions on  $f$ . The theory of prolate spheroidal wave functions allows us to construct a class of functions where such an estimate cannot hold. Moreover, we characterize the class of operators which let the phase unchanged when applied to the signal  $f$ .

# Angular Synchronization: setup, relaxations and newest error bounds

Oleh Melnyk\* †

31.01.2020

## Abstract

The problem of angular synchronization naturally arises in the recovery of phaseless measurements, clock synchronization and computer vision. It requires the reconstruction of the vector of angles from their pairwise differences. As reconstruction is an NP hard problem, two common relaxations are used instead: semi-definite problem and eigenvector-based. In this talk, we compare available recovery guarantees and present our new stronger bounds. This talk is based on the joint work with Felix Krahmer and Frank Filbir.

---

\*Mathematical Imaging and Data Analysis @ICB, Helmholtz Center Munich, 85764 Neuherberg, Germany

†Department of Mathematics, Technical University of Munich, 85748 Garching bei München, Germany  
(oleh.melnyk@tum.de)

# The condition number of Vandermonde matrices with clustered nodes

DOMINIK NAGEL

*Universität Osnabrück*

The condition number of rectangular Vandermonde matrices with nodes on the complex unit circle is important for the stability analysis of algorithms that solve the trigonometric moment problem, e.g. Prony's method, ESPRIT. In the univariate case and with well separated nodes, the condition number is well studied, but when nodes are close together, it gets more complicated. After providing a short survey over recent developments, our own results, in particular estimates for the multivariate case, are presented.

# Universelles Verhalten nichtkollidierender Brownscher Bewegungen

Thorsten Neuschel  
Universität Bielefeld

## **Abstract**

Es ist ein bekanntes Phänomen der Zufallsmatrixtheorie, dass Eigenwerte von Zufallsmatrizen regelmäßig ein “universelles” Verhalten zeigen, wenn man asymptotisch große Dimensionen betrachtet. In diesem Sinne untersuchen wir das asymptotische Verhalten nichtkollidierender Brownscher Bewegungen und studieren die Übergänge von deterministischem zu universellem Verhalten.

# Detecting Intentions of Vulnerable Road Users Based on Collective Intelligence

Günther Reitberger  
University of Passau

Vulnerable road users (VRUs, i.e. cyclists and pedestrians) will play an important role in future traffic. To avoid accidents and achieve a highly efficient traffic flow, it is important to detect VRUs and to predict their intentions. Vehicles equipped with sensors, data processing systems and communication abilities, referred to as intelligent vehicles, acquire and maintain a local model of their surrounding traffic environment, e.g. crossing cyclists.

Heterogeneous, open sets of agents (cooperating and interacting vehicles, infrastructure, e.g. cameras and laser scanners, and VRUs equipped with smart devices and body-worn sensors) exchange information forming a multi-modal sensor system with the goal to reliably and robustly detect VRUs and their intentions under consideration of real time requirements and uncertainties. The resulting model allows to extend the perceptual horizon of the individual agent beyond their own sensory capabilities, enabling a longer forecast horizon. Concealments, implausibilities and inconsistencies are resolved by the collective intelligence of cooperating agents.

Novel techniques of signal processing and modeling in combination with analytical and learning based approaches of pattern and activity recognition are used for detection, as well as intention prediction of VRUs. Cooperation, by means of probabilistic sensor and knowledge fusion, takes place on the level of perception and intention recognition. The evaluation is done using real data gathered with a research vehicle, a research intersection with public traffic, and mobile devices.

# **Continued Fractions and Kronecker's Theorem**

Tomas Sauer

Kettenbrüche wurden bereits von Gauß verwendet, um orthogonale Polynome ohne orthogonale Polynome zu konstruieren. Daher kann man sie auch zum Studium von Momentenfolgen verwenden und zwischen den beiden Extremen eines definiten quadratpositiven Skalarprodukts und eines endlichen diskreten Maßes unterscheiden. Fr letzteren Fall gilt der *Satz von Kronecker* (einer der vielen “Sätze von Kronecker”, um genau zu sein), der Hankelmatrizen endlichen Rangs dadurch charakterisiert, daß ihr Symbol eine rationale Funktion ist. Wie das in mehreren Variablen aussieht, erzählt dieser Vortrag.

# Compressing Large Computerized Tomography Data Using Wavelets

*A. Michael Stock\* (University of Passau), Benedikt Diederichs,  
Thomas Lang*

Computerized Tomography (CT) is an X-ray-based technique to generate three-dimensional digital twins from real-world objects. Applications can be found in the manufacturing industry, medical imaging, and cultural heritage projects. Today, there exists CT machinery that is able to create volumetric datasets of even hundreds of gigabytes in size.

To make that amount of data manageable, we consider a wavelet-based method exploiting the natural sparsity of the given CT scans when transforming the data into the wavelet domain. In this work, we analyze a huge CT dataset: a Peruvian mummy, taking up about 987 GB of storage space. We show that we can achieve a high compression rate and visually satisfying results.

`stock@forwiss.uni-passau.de`

# Laplacian Matrices for Image Compression by Adaptive Thinning

Niklas Wagner  
Universität Hamburg

In previous work, we have proposed a concept for digital image compression. This compression scheme relies on a locally adaptive algorithm, *adaptive thinning*, for sparse approximation of images. It utilizes linear splines over anisotropic Delaunay triangulations.

For further improvement on this concept, we want to improve the image quality on some triangles of the triangulation. But this requires a technique which allows us to work with irregular data domains. To this end, we apply signal processing on graphs, which merges algebraic and spectral graph theoretic concepts with computational harmonic analysis.

We interpret the given data as a graph signal on a graph given over each triangle and apply the graph Fourier transform. In the graph spectral domain we are then able to apply filtering methods on the data. To achieve an efficient compression, special care should be taken when selecting each graph, so that it adapts to the given data.

In this talk, we will show how to choose the optimal edge weight of the Laplacian matrix, and thus for the graph, by approximating the Karhunen-Loève Transform.

This talk is based on joint work with Armin Iske.