

Küberneetika instituut, 2019. aasta teadus- ja arendustegevuse tutvustus

Department of Cybernetics

Direktor: Andrus Salupere, andrus.salupere@ttu.ee, +372 620 4152

Instituudis tegutsevad järgmised uurimisrühmad:

- Lainetuse dünaamika
- Süsteemibioloogia
- Teoreetiline füüsika
- Pöördülesanded ja stohhastilised meetodid
- Matemaatiline analüüs
- Rühma- ja poolrühmateooria
- Komposiitide reoloogia
- Mittelineaarne lainelevi

The Department conducts research within 9 research groups:

- Wave Engineering
- Systems Biology
- Theoretical Physics
- Inverse Problems and Stochastic Methods
- Mathematical Analysis
- Group and Semigroup Theory
- Rheology of Composites
- Nonlinear Wave Dynamics

LAINETUSE DÜNAAMIKA UURIMISRÜHM (küberneetika instituudi ning ehituse ja arhitektuuri instituudi ühine uurimisrühm)

Juht: Tarmo Soomere, juhtivteadur, labori juhataja (küberneetika instituut), rannikutehnika professor (ehituse ja arhitektuuri instituut), soomere@cs.ioc.ee

Liikmed: Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Andrus Räämet, Bert Viikmäe;

Doktorandid: Maris Eelsalu, Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Margus Rätsep.

Külalisdoktorandid (vaid sellised, kus tööühma liige on juhendaja või kaasjuhendaja): Kuanysh Kussembayeva (al-Farabi nim Kasahhi riiklik ülikool), Aigerim Sakhayeva (al-Farabi nim Kasahhi riiklik ülikool), Ilona Šakurova (Klaipeda ülikool)

Võtmesõnad: lainetuse dünaamika, rannikutehnika, lainetuse klimatoloogia, rannikute haldamine, kaugseire

Teadustöö ülevaade

Lainetuse dünaamika labor (wavelab.ioc.ee) loodi 2009. a tagamaks adekvaatne täppisteaduslik tugi rannikutehnika-alasele teadus- ja õppetööle ning rakendustele. Sihiks on sulandada tervikuks merelainete dünaamika, lainetuse klimatoloogia ning teiste rannikupiirkonda mõjutavate protsesside uuringud.

Labori teadustöö keskendub komplekssetele ja mittelineaarsetele nähtustele pinna- ja siselainete dünaamikas ja rannikutehnikas ning matemaatiliste meetodite rakendamisele neis valdkondades.

Peamised töösuunad:

- pinnalainete modelleerimine, lainekliima ja laevalainete uuringud
- ekstreemsete üksiklainete (hiidlainete), lainetuse tingimuste ja veetasemete problemaatika
- lainetusega seotud nähtused rannikutehnikas (laineaju, lainerünnak)
- veemasside ja rannasetete dünaamika Lagrange'i vaatekohast
- rannikute funktsioneerimise teooria, rannikupiirkonna integreeritud haldus
- merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine

Viimastel aastatel on labori kompetents ulatuslikult laienenud mitmesuguste kaugseire meetodite rakendamise suunas; seda nii fundamentaaluuringute tasemel (mitmesugused signaalifiltrid) kui ka praktiliste ülesannete lahendamiseks nagu rannas toimuvate muutuste kvantifitseerimine või avamerelainetuse omaduste analüüs. Põnevaid teadustulemusi on saadud näiteks siselainete peamiste omaduste klimatoloogias erinevates šelfimeredes (Läänemeri, Vahemeri, Ohhoota meri), veetaseme trendide, ekstreemumite ja klimatoloogia vallas ning Läänemere tuulelainetuse omaduste määramisel satelliitaltimeetria vahenditega. Suure tähelepanu võitis Veneetsia laguuni mõjutavate laevalainete analüüs

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Keskkonnaressursside vääristamine

Frascati valdkond: 1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused, 2.1 Ehitusteadused

Olulised tunnustused 2019

Tarmo Soomere: Valiti Leedu teaduste akadeemia välisliikmeks (01.10.2019, inauguratsioon 25.02.2020)

Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös 2019

Tarmo Soomere:

- Läti Teaduste Akadeemia välisliige

- Euroopa Merekomitee (European Marine Board) liige.
- Euroopa Teaduste Akadeemiate Teadusnõukoja (EASAC) keskkonnapaneeeli liige.
- Euroopa Liidu riikide peateadurite foorum (European Science Advisors' Forum, ESAF), liige alates 2017; esimees alates 2020

Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta:

Käivitamisel EEA projekt "Läänemere idaranniku looduslike randade ja rannikuehitiste jätkusuutlik tulevik" koos Leedu, Läti ja Norra kolleegidega

Uurimisrühma senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas (viited projektidele, lepingutele, uudistele vms):

- (i) Ekstreemsete veetasemete ja nende korduvusperioodide prognoos kindlustusseltside vajadusteks – Eesti ranniku jaoks lõpetatud 2018, Läti ja Leedu jaoks tegemisel,
- (ii) ekstreemsete tuulekiiruste ja nende korduvusperioodide prognoos kogu Eesti territooriumi (sh merealade) jaoks, lõpetatud 2019, lepingud konfidentsiaalsed

WAVE ENGINEERING RESEARCH GROUP (joint research group of Department of Cybernetics and Department of Civil Engineering and Architecture)

Head of the group: Tarmo Soomere, Lead Researcher, head of laboratory (departement of cybernetics), Professor of Coastal Engineering (Departement of Civil Engineering and Architecture), soomere@cs.ioc.ee

Members of the group: Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Andrus Räämet, Bert Viikmäe;

PhD students: Maris Eelsalu, Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Margus Rätsep.

Visiting PhD students:

Kuanysh Kussembayeva (al-Farabi nim Kasahhi riiklik ülikool), Aigerim Sakhayeva (al-Farabi nim Kasahhi riiklik ülikool), Ilona Šakurova (Klaipeda ülikool)

Frascati areas: 1.5 Earth and related environmental sciences, 2.1 Civil Engineering

Keywords: wave dynamics, coastal engineering, wave climatology, coastal management, remote sensing

Overview

The laboratory (wavelab.ioc.ee) was formed on 01.01.2009 to promote and provide a structure for research in water waves and coastal engineering. The laboratory was a part of the Centre of Excellence in Non-linear Studies in 2009–2016 and now is one of the core labs of the Department of Cybernetics.

The team focuses on complex and nonlinear phenomena in wave dynamics and coastal engineering, and the applications of mathematical methods in wave studies. The scope of research involves, but is not limited to, long wave theory and applications (with emphasize on fast-ferry wakes, shallow-water solitons, set-up phenomena, and generic aspects of coastal hazards), surface wave modelling, wave climate studies, and wave-driven phenomena in coastal engineering, with application to integrated coastal zone management.

Rapidly emerging foci are the use of Lagrangian transport of substances in marine environment, adequate description of wave and water level extremes, and preventive methods for mitigation of marine-induced hazards, and the use of various remote sensing methods for studies of both

fundamental questions (e.g. filtering techniques of various signals) and applied problems such as spatio-temporal variations in the properties of waves in small inland seas.

We have established several unexpected properties of internal wave fields in semi-enclosed seas such as the Baltic Sea, Mediterranean Sea and Sea of Okhotsk, and made it possible to quantify changes in the main properties of surface waves in the Baltic Sea. Studies of the impact of ship wakes in the Venice Lagoon (Zaggia et al. 2017 *PLoS ONE*) caused massive reaction in Venice.

SÜSTEEMIBIOLOOGIA UURIMISRÜHM

Juht: vanemteadur Marko Vendelin, markov@ioc.ee

Liikmed: Rikke Birkedal, Mari Kalda-Kroon, Niina Karro, Martin Laasmaa,

Doktorant: Jelena Branovets.

Võtmesõnad: süda; biofüüsika; bioenergeetika; elektrofüsioloogia; biomehaanika; rakusisene difusioon; fluorestsentsmikroskoopia; fluorestsentsi korrelatsioonispektroskoopia.

Teadustöö ülevaade

Süsteemibioloogia laboratoorium tegutseb biofüüsika ning bioenergeetika vallas, keskendudes südamerakus toimuvate protsesside uurimisele. Kasutades nii eksperimentaaltööd kui matemaatilist modelleerimist uuritakse rakusisest kompartmentatsiooni ning difusioonitakistusi ning nende mõju rakuenergeetikale; mitokondrite funktsionaalse struktuuri mõju rakuhingamisele; energia ülekande mehhanisme rakkudes ning südameraku mehaanika ning energeetika omavaheline seost.

Südamelihaskoos on kaht tüüpi difusioonitakistusi, mis arvatavalt mängivad suurt rolli energia ülekandes, signaliseerimises, apoptootiliste faktorite ja reaktiivsete hapniku radikaalide jaotuses. Difusioonitakistuste tuvastamiseks ja jaotuse määramiseks südamelihaskoos stimuleeriti roti südamelihaskoos mitokondriaalset hingamist rakku ümbritseva lahuse ADP kontsentratsiooni muutmise teel ning mõõdeti samaaegselt NADH autofluorestsentsi, mis on sõltuvuses hingamismäärast. Leiti, et roti südamelihaskoos moodustab mitokondrite välismembraan poole üldisest difusioonitakistusest ning teine pool üldisest difusioonitakistusest asetseb mitokondrite välismembraani ja raku välise lahuse vahel.

Kaltsiumi kontsentratsiooni muutus elektromehaanilise sidestuse ajal reguleerib südameraku kokkutõmbumist ja lõõgastumist. Kaltsiumi kontsentratsiooni muutvad kaltsiumivood on omavahel ülitäpselt tasakaalustatud, kuid südamehaiguse korral muutub see tasakaal ja südame tootlikus langeb. Töötasime välja meetodi, mille abil määrasime erinevate kaltsiumvoogude dünaamikat ja panust kaltsiumi kontsentratsiooni muutusse südamelihaskoos elektromehaanilise sidestuse jooksul.

Uurimisrühma väljundiks on ka vabatarkvara kirjutamine rühmas väljatöötatud analüüsitehnikele nagu näiteks dekonvolutsioon konfokaal mikroskoopia piltide parendamiseks, sarkomeeri pikkuse reaalaajas määramise algoritm. Arendatud tarkvara on tekitanud huvi erinevate firmade seas, kes on soovitud rühmas väljatöötatu rakendamiseks oma toodetes.

Tähtsamad projektid:

- IUT33-7 Mikrostruktuuri, energiametabolismi ja sooritusvõime vahelised seosed südames, 2015-2020
- EU COST Action CA15203: MitoEagle
- EU COST Action CA16225: CARDIOPROTECTION
- Innovative digital platform tailored for AI-assisted discoveries of hidden phenomena in biological function

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Usaldusväärased IT-lahendused

Frascati valdkond: 1.6 Bioteadused

SYSTEMS BIOLOGY RESEARCH GROUP

Head: senior researcher Marko Vendelin, markov@ioc.ee

Members: Rikke Birkedal, Mari Kalda-Kroon, Niina Karro, Martin Laasmaa,
PHD student Jelena Branovets

Frascati areas: 1.6 Biological sciences

Keywords: heart; biophysics; bioenergetics; electrophysiology; biomechanics; intracellular diffusion; fluorescence microscopy; fluorescence correlation spectroscopy.

Overview

The Laboratory of Systems Biology was established in 2007 with the help of the funding from Wellcome Trust. We use interdisciplinary approaches to tackle questions in cardiac physiology. Our team consists of researchers with backgrounds in biophysics, biology, and applied mathematics/physics. As a result, we are able to approach scientific questions on different scales, from organ to molecular level, using combinations of various experimental and theoretical techniques by focusing on the quantitative analysis of the data.

We study diffusion in cardiomyocytes by tracking the movement of fluorescent molecules using extended raster image correlation spectroscopy. Our results suggest that diffusion barriers are arranged in a 3D lattice with relatively small openings. From the analysis of autofluorescence response, we demonstrated that mitochondrial outer membrane and cytosolic diffusion barriers reduce the movement of molecules in a similar extent. We study the effects of creatine deficiency to establish the role of creatine kinase shuttle in the heart.

We are studying excitation-contraction coupling of the heart by focusing on the interaction between processes. Mechanical contraction is initiated through the entry of calcium ions into the cell. We developed a method to quantify the Ca^{2+} influx pathways. The novelty of our method lies in the mathematical analysis of measured transsarcolemmal Ca^{2+} currents and their impact on the corresponding Ca^{2+} transient during gradual inhibition of the currents in action potential clamp. The developed method resolves the major problem on how to separate highly interconnected fluxes and allows to study Ca^{2+} fluxes in cardiomyocytes under conditions close to *in vivo*.

We have been active in the development of new techniques and distribute them as open-source tools: deconvolution software for confocal imaging, symbolic flux analysis for genome-scale metabolic networks, and real-time sarcomere length estimation techniques. This development work has raised interest in companies with an outreach of incorporating our algorithms and software into their products.

Essential projects:

- IUT33-7 Relationships between microstructure, energy transfer, and performance in heart, 2015-2020
 - EU COST Action CA15203: MitoEagle
 - EU COST Action CA16225: CARDIOPROTECTION
 - Innovative digital platform tailored for AI-assisted discoveries of hidden phenomena in biological function
-

TEOREETILISE FÜÜSIKA UURIMISRÜHM

Juht: Professor Jaan Kalda, kalda@ioc.ee

Liikmed: Raavo Josepson, Mihhail Klopov, Mihkel Kree, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustõnski; doktorandid Inderek Mandre, Siim Ainsaar, Mihkel Heidelberg, Madis Ollikainen, Stephanie Rendon De La Torre, Iram Tufail, Eero Uustalu, Marek Vilipuu.

Järel doktor: Jesus Alva Samos

Võtmesõnad: turbulents, fotogalvaanilised materjalid, majandusfüüsika, kompleksüsteemid, füüsika õppematerjalid.

Uurimisrühma peamised kompetentsid:

- Päikeseplatade tehnoloogiaga seonduvalt uuritakse odavate ja efektiivsete *fotogalvaaniliste materjalide omadusi*. Üheks uurimissuunaks on kvant-keemilisel ja tihedus-funktsionaali teoorial tuginevate mudelite abil uute fotogalvaaniliste materjalide (hübriid-perovskiid ja CZTS) põhiliste füüsikaliste parameetrite arvutamine.
- Materjalitehnoloogiliste lahenduste jaoks on oluline mõista *lokaliseeritud võnkumisi tahkises* ja LLM-i (Linear Localized Modes) füüsikalisi mehhanisme. Oleme selgitanud välja ILM-i (Intrinsic Localized Modes) tekitamise tingimusi erinevates kolmemõõtmelistes kristallides ja võrrelnud teooriat eksperimendiga.
- *Satelliitide tegevuse modelleerimine ja planeerimine*. Nanosatelliidi (CubeSat) projekti raames oleme koostanud satelliidi päikeseenergia bilansi mudeli ja ennustanud kommunikatsiooniaknaid.
- Töörühma üheks olulisemaks töösuunaks on *turbulentse segunemise teoreetiline analüüs ja modelleerimine*. Kasutatavateks töövahenditeks on Lagrange'i venitusstatistika Fokker-Planck'i võrrandid, statistiliste Lagrange'i dünaamika invariandid, juhuslike maatriksite korrutised, segunemisväljade statistilise topograafia, stohhastilised mudelid. Koostöös lainetuse dünaamika laboriga oleme modelleerinud merepinnal edasikanduvate osakeste klasteriseerumist võttes arvesse veevoolu ja tuule koosmõju. Koostöös Marseille ülikooliga oleme uurinud segunemist poorses keskkonnas, vt. Phys. Rev. Fluids (2017) 2, 104502 (Altmetrix skoor 15).
- Töörühma kompetentsiks on ka *majandusfüüsika – majanduse uurimine füüsikaliste meetoditega*. Oleme uurinud majandusvõrgustiku mastaabivabu omadusi tuginedes Swedbanki andmetebaasile ja oleme näidanud, et sellel võrgustikul on multifraktaalsed omadused, vt Eur. Phys. J. B (2017) 90: 234 (Altmetrix skoor 5).
- Suurt tähelepanu on pööratud füüsika hariduse populariseerimisele ja loomingulisust nõudvate probleemide lahendusmeetoditele pühendatud õppematerjalide *väljatöötamisele*. Lehel <https://www.ioc.ee/~kalda/ipho/> leiduvad materjalid on võitnud rahvusvaheliselt suure populaarsuse, keskmine allalaadimiste arv on ca 1000 faili päevas. TFU eestvedamisel algatati Euroopa füüsikaolümpiaad; 2020 a juunis Rumeenias toimuval olümpiaadile on oodata 170 võistlejat 35 riigist, vt ka European Journal of Physics, 39, 064002 (2018).

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Targad ja energiatõhusad keskkonnad , Tulevikku vaatav riigivalitsemine , Innovaatilised väike- ja keskmise suurusega ettevõtted ja digitaalne majandus

Frascati valdkond: 1.3 Füüsikateadused

THEORETICAL PHYSICS RESEARCH GROUP

Head of the group: Professor Jaan Kalda, kalda@ioc.ee

Members of the group: Raavo Josepson, Mihhail Klopov, Mihkel Kree, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustõnski

PhD students: Indrek Mandre, Siim Ainsaar, Mihkel Heidelberg, Madis Ollikainen, Stephanie Rendon De La Torre, Iram Tufail, Eero Uustalu, Marek Vilipuu.

Post-doc: Jesus Alva Samos

Frascati areas: 1.3 Physical sciences

Keywords: turbulence, photovoltaic materials, econophysics, complex systems, tools for physics education.

Our competence:

- Rapidly developing solar cell technology has brought to the forefront the problem about *the properties of inexpensive and efficient photovoltaic materials*. One of our research topics is calculation of the basic physical parameters of new photovoltaic materials (hybrid-perovskite and CZTS) using quantum chemical and density functional theory methods. For material technology applications, it is important to understand the *localized oscillations in solids* and the physical mechanisms of LLM (Linear Localized Modes); we have determined the conditions of excitation of ILM (Intrinsic Localized Modes) in various three-dimensional crystals and compared theory with experiment.
- The group has also competence in *orbital modelling and planning for satellites*. Within nanosatellite project „CubeSat“, we have developed a solar energy balance model, and predicted the positions of its communication windows.
- For *theoretical analysis and modelling of turbulent mixing*, our research tools include Fokker-Planck equations for Lagrange stretching statistics, statistical Lagrange dynamics invariants, stochastic matrix products, statistical topography of passive fields, stochastic modelling. In collaboration with Wave Dynamics Laboratory, we have modelled litter patchiness in marine environment as a result of coupling between the water flow and wind drag. In cooperation with University of Marseille, we have studied mixing in a porous environment, see Phys. Rev. Fluid (2017) 2, 104502 (Altmetrix score 15).
- The group has been also involved in *econophysics research*. We have studied scale-free properties of economic networks based on the database of wire transfers of Swedbank – these appear to be multifractal networks, see Eur. Phys. J. B (2017) 90: 234 (Altmetrix score 5) .
- The group has been *developing physics study materials*, mostly focusing on methods for solving creative problems, and *popularizing physics education*. The materials available at <https://www.ioc.ee/~kalda/iphoo/> have won a great international recognition, with an average download of about 1,000 files per day. TFU initiated the European Physics Olympiad. 170 participants from 35 countries, are expected to attend the 4th Olympiad in June 2020 in Romania; see also European Journal of Physics, 39, 064002 (2018).

PÖÖRDÜLESANDED JA STOHASTILISED MEETODID

Uurimisrühma juht: Jaan Janno, professor, e-post: jaan.janno@taltech.ee

Uurimisrühma liikmed: Lassi Päivärinta, Margus Pihlak, Kari Kasemets

doktorandid Nataliia Kinash, Sadia Sadique.

külalisdoktorant Rupali Gupta 15.05.2019- 15.07.2019

Võtmesõnad: pöördülesanded, murruline difusioon ja lainelevi, Bayesi meetodid, mitteparameetriline statistika

Kompetentside tutvustus:

- *Pöördülesanded murrulisi tuletisi sisaldavatele võrranditele*. Uuritakse pöördülesandeid lineaarsetele ja mittelineaarsetele murruliste tuletistega diferentsiaalvõrranditele. Ülesannetes on otsitavateks suurusteks koefitsiendid, allikafunktsioonid ja üldistatud murrulistes tuletistes sisaduvad tuumad. Taolised ülesanded tekivad difusiooni ja mehaaniliste protsesside

modelleerimisel poorsetes, fraktaalsetes ja bioloogilistes keskkondades. Käsitletakse nii teoreetilisi aspekte (lahendite olemasolu, ühesus ja stabiilsus) kui ka lahendusmeetodeid.

- *Stohhastilised meetodid pöördülesannete käsitlemisel.* Uuritakse pöördülesandeid murrulisele Browni liikumisele (FBL) ja Bayesi pöördülesandeid. Konkreetseid probleeme on FBLi Hursti parameetri määramine ja eeljaotuste konstrueerimine Bayesi pöördülesannete jaoks, mis säilitavad servi eesmärgiga määrata täpsemini keskkondade anomaaliaid. Rakenduste spekter on lai: alates meditsiinilisest kuvamisest ja atmosfääri kaugeirest kuni finantsmatemaatikani. Sellega haakub ka tripoolsete antennide matemaatilise teooria väljatöötamine.
- *Mitteparameetriliste statistiliste meetodite väljatöötamine.* Arendatakse mitteparameetriliste statistiliste meetodite aluseks olevat matemaatilist aparatuuri ja rakendatakse neid meetodeid keskkonna- ja ehitustehnikas. Rakenduslik koostöö toimub TalTechi ja TÜ uurimisrühmadega.

Viimaste aastate olulisemad projektid:

- PUT568 Pöördülesanded murdtuletisi sisaldavatele paraboolsetele diferentsiaalvõrranditele, 2015–2018.
- PUT1093 Stohhastilised meetodid pöördülesannete käsitlemisel rõhuasetusega fraktsionaalse difusiooni mudelitele, 2016–2019.

Viimaste aastate olulisemad artiklid:

- Huvönen, N.; Päivärinta, L.; Tamminen J. (2018). Enhancing D-bar reconstructions for electrical impedance tomography with conformal maps. *Inverse Problems and Imaging*, 12 (2).
- Kinash, Nataliia; Janno, Jaan (2019). An inverse problem for a generalized fractional derivative with an application in reconstruction of time- and space-dependent sources in fractional diffusion and wave equations. *Mathematics*, 7 (12, 1138),

Olulisim tulemus 2019. a: üldistatud murrulises difusioonivõrrandis sisalduva aja- ja ruumimuutujatest sõltuva alikafunktsiooni määramise pöördülesande teoreetiline analüüs, kui vaatlused on antud lõpphetke ümbruses.

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: usaldusväärsed IT-lahendused, keskkonnaressursside vääristamine

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta:

Tulemused on rakendatavad (meditsiinilise) tomograafia ja kaugeire aparatuuri täiustamisel.

INVERSE PROBLEMS AND STOCHASTIC METHODS

Head of the group: Professor Jaan Janno, e-mail: jaan.janno@taltech.ee

Members of the group: Lassi Päivärinta, Margus Pihlak, Kari Kasemets

PhD students: Nataliia Kinash and Sadia Sadique.

Visiting PhD student: Rupali Gupta 15.05.2019- 15.07.2019

Frascati area: 1.1 Mathematics

Keywords: inverse problems, fractional diffusion and wave motion, Bayesian methods, nonparametric statistics.

Introduction of competencies:

- *Inverse problems for equations containing fractional derivatives.* Inverse problems for linear and nonlinear fractional differential equations are studied. Unknowns to be determined are coefficients, source terms and kernels of generalized fractional time derivatives. Such problems occur in modelling of diffusion and mechanical processes in porous, fractal and biological media.

The research is focused both on theoretical aspects (existence, uniqueness and stability of solutions) and elaboration of numerical methods.

- *Stochastic methods in inverse problems.* Inverse problems for fractional Brownian motion (FBM) and Bayesian inverse problems are considered. The particular problems are: the reconstruction of the Hurst parameter of FBM and construction of prior distributions for Bayesian inverse problems that preserve edges in order better to detect anomalies. Applications are manifold starting from medical imaging and atmospheric remote sensing and ending up to mathematics of finance. This is accompanied with a development of mathematical theory of tripole antennas.
- *Elaboration of nonparametric statistical methods.* Theory of nonparametric statistical methods is developed and these methods are applied in environmental and building engineering. Application-oriented collaboration is performed with research groups of TalTech and UT.

Recent grants:

- PUT568 Inverse problems for parabolic differential equations with fractional derivatives, 2015–2018.
- PUT1093 Stochastic methods in inverse problems with special focus on fractional diffusion, 2016–2019

Recent publications:

- Huvönen, N.; Päivärinta, L.; Tamminen J. (2018). Enhancing D-bar reconstructions for electrical impedance tomography with conformal maps. *Inverse Problems and Imaging*, 12 (2).
- Kinash, Nataliia; Janno, Jaan (2019). An inverse problem for a generalized fractional derivative with an application in reconstruction of time- and space-dependent sources in fractional diffusion and wave equations. *Mathematics*, 7 (12, 1138),

Main result of 2019: theoretical analysis of an inverse problem to determine a time- and space-dependent source in a generalized fractional diffusion equation in case observations are given in a neighborhood of a final time.

MATEMAATILISE ANALÜÜSI UURIMISRÜHM

Uurimisrühma juht: vanemlektor Gert Tamberg, gert.tamberg@taltech.ee

Uurimisrühma liikmed: doktorandid Olga Graf ja Olga Meronen

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

Võtmesõnad: valimoperaatorid, lähendusteooria, signaalitöötlus

Teadustöö põhisuunad:

- Uuritakse üldistatud Shannoni valimoperaatoreid, mis võimaldavad esitada funktsioone rittaarendusena, kus kordajateks on funktsiooni väärtused sõlmedes ning baasifunktsioonid saadakse teatud tuumafunktsiooni nihetena. On defineerinud Kantorovichi-tüüpi valimread, kus arenduse kordajateks on võetud funktsiooni väärtuste asemel sõlmedes selle funktsiooni väärtuste kaalutud keskmised vastava sõlm mingis ümbruses, mida esitakse Fejer-i singulaarsete integraalidega.
- Uuritakse valimoperaatorite rakendusi signaalitöötuses, eelkõige pildinduses, kus piltide suurendamise ja vähendamise algoritme on loomulik esitada valimrühmade abil. Samuti uuritakse valimrühmade rakendusvõimalusi suure dünaamilise ulatusega piltide esitamisel ja valimoperaatorite rakendusi aegriidade analüüsis ning lühiajaliste prognooside teostamisel.

Põhitulemused

- On selgitatud valimoperaatorite lähendusomadusi tugevalt asümmeetriliste tuumade korral.
- Kasutasime valimriidadel põhinevaid piltide suurendamise algoritme superresolutsiooni algoritmides algühendi leidmisel.
- On loodud riistvaraline lahendus valimriidade kasutamiseks autonoomsete sensorite poolt kasutatava energia hulga prognoosimisel.

Parim publikatsioon 2019.a

- Ahmed, Faisal; Kervadec, Corentin; Le Moullec, Yannick; Tamberg, Gert; Annus, Paul (2019). Autonomous Wireless Sensor Networks: Implementation of Transient Computing and Energy Prediction for Improved Node Performance and Link Quality. The Computer Journal, 62 (6), 820–837.

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Targad ja energiatõhusad keskkonnad, Usaldusväärsed IT-lahendused

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta: Saadud tulemused on rakendatavad pilditöötuse tarkvara väljatöötamisel.

MATHEMATICAL ANALYSIS RESEARCH GROUP

Head of the group: Senior Researcher Gert Tamberg, gert.tamberg@taltech.ee

Members of the group: PhD students Olga Graf, Olga Meronen

Frascati areas: 1.1 Mathematics

Keywords: sampling operators, approximation theory, signal processing

Overview

Main directions of research are as follows:

- We study the generalized Shannon sampling operators that mean the representations of functions in terms of series, where the expansion coefficients are its samples and expansion functions are translates of certain kernel function. In the case of Kantorovich-type sampling operators we take instead of point estimates some local averages as Fejer-type singular integrals.
- We study applications of the generalized sampling operators in Signal Processing, especially in imaging applications, where the generalized sampling operators are a natural tool for image resampling. We also study applications in HDR imaging. We study the applications of sampling operators in time series analysis and linear prediction.

Main results

- We clarified approximation properties of sampling operators with not necessary even kernel, especially for sampling operators with strongly asymmetric kernels.
- We applied image-resampling algorithms, based on sampling operators in super resolution algorithms.
- We applied sampling operators in time series analysis and linear prediction, especially for energy prediction. A hardware realization was proposed.

Best publication 2019

- Ahmed, Faisal; Kervadec, Corentin; Le Moullec, Yannick; Tamberg, Gert; Annus, Paul (2019). Autonomous Wireless Sensor Networks: Implementation of Transient Computing and Energy

Prediction for Improved Node Performance and Link Quality. The Computer Journal, 62 (6), 820–837.

RÜHMA- JA POOLRÜHMATEORIA UURIMISRÜHM

Uurimisrühma juht: vanemlektor Alar Leibak, alar.leibak@taltech.ee, tel. +372 6203055

Uurimisrühma liikmed: Peeter Puusemp, Piret Puusemp

Doktorant: Märt Umbleja

Võtmesõnad: rühmateooria, endomorfismimonoid, algebra rakendused

Teadustöö ülevaade

Uurimisrühm on keskendunud rühmade ja nende endomorfismipoolrühmade vaheliste seoste ning rühmateooria rakenduste uurimisele. Eesmärk on anda tuntud lõplike rühmade klasside jaoks nende kirjeldused endomorfismimonoidide kaudu ja uurida nende määratavust endomorfismide abil kõigi rühmade klassis. Nn. väikeste rühmade korral alustasime uurimist, millised neist on määratud oma endomorfismimonoidiga. Mitte määratud rühmade korral anda nende rühmade kirjeldused, mille endomorfismimonoid on isomorfne etteantud rühma omaga. Samuti arendatakse algoritme, et tarkvara GAP (<http://www.gap-system.org>) abil automaatselt otsustada lõpliku rühma määratavust oma endomorfismimonoidiga.

Uuritavad rakendused hõlmavad:

- mittekommutatiivse algebra (väänatud polünoomide ringid, Dieudonné' determinant) kasutamist juhtimissüsteemide matemaatilises teoorias (koostöö Ü. Kotta ja J. Belikoviga);
- tsüklilisel rühmal või poolrühmal põhineva Diffie-Hellmani salajase võtme jaotuse uurimist.

Olulisemad tulemused

- Koostöös Tatjana Tambergiga Tallinna Ülikoolist uuriti 2^n -järku tsüklilise rühma otseruudu poolotsekorrutist tsüklilise rühmaga C_6 , kus eeldati, et C_6 sisestatakse automorfismide rühma. Näidati, et selliseid rühmi on isomorfismi täpsusega ainult viis iga täisarvu $n > 3$ korral.
- Tõestati funktsioon $R(n,t,N)$ (arvu $t \bmod N$ kui jäägiklassi esitus n teguri korrutisena) on multiplikatiivne, mille abil tuletati parem ülemine tõke DH ühivõtme esinemise tõenäosusele.

Parim publikatsioon 2019.a

- Kotta, Ü.; Belikov, J.; Halás, M.; Leibak, A. (2019). Degree of Dieudonné determinant defines the order of nonlinear system. International Journal of Control, 92 (3), 518–527

Osalemine Mektory satelliidiprogrammis

- Alar Leibak osaleb Mektory satelliidiprogrammis matemaatilise konsultandina (Maa magnetvälja mudeli arvutamine, kvaternioonide ja duaalsete kvaternioonide rakendamine satelliidi asendikontrollis).

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Usaldusväärsed IT-lahendused

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

GROUP AND SEMIGROUP THEORY RESEARCH GROUP

Head of the group: senior lecturer Alar Leibak, alar.leibak@taltech.ee, +372 6203055

Members of the group: Peeter Puusemp, Piret Puusemp

PhD student: Märt Umbleja

Frascati areas: 1.1 Mathematics

Keywords: group theory, endomorphism semigroups, applications of algebra

Overview

The research is focused on the study of the connection between groups and their endomorphism semigroups, and the applications of group theory.

The aim is to describe some well-known classes of finite groups by their endomorphism semigroups and to decide whether a group is determined by its endomorphism semigroup in the class of all groups or not. We started to describe all *small groups*, that are determined by their endomorphism semigroups. Further, if a group G is not determined by its endomorphism semigroup, then to provide the complete list of nonisomorphic groups having the endomorphism semigroup isomorphic to that of G . As the computational group theory and the software GAP (<http://www.gap-system.org>) are becoming more popular among people working in applied algebra, we started to develop algorithms what are able to decide automatically whether or not a given finite group is determined by its endomorphism semigroup.

Main results:

- It was proved that there are only five semidirectproducts of $C_2^n \times C_2^n$ by C_6 for each $n > 3$, if C_6 is embedded into the automorphism group (joint work with Tatjana Tamberg at Tallinn University).
- The distribution of the multi-party Diffie-Hellman common secret keys were studied if the platform group is an arbitrary finite cyclic group. As a result, it was proved that the probability function is multiplicative.
- Best publication 2019
- Kotta, Ü.; Belikov, J.; Halás, M.; Leibak, A. (2019). Degree of Dieudonné determinant defines the order of nonlinear system. *International Journal of Control*, 92 (3), 518–527

KOMPOSIITIDE REOLOOGIA UURIMISRÜHM

Uurimisrühma juht: vanemteadur Heiko Herrmann, hh@cens.ioc.ee

Uurimisrühma liikmed: Andres Braunbrück, Dmitri Kartofelev;

doktorant Oksana Goidyk

Võtmesõnad: Materjalimehaanika, pideva keskkonna mehaanika, kiudbetoon, kiudude orientatsioon, arvutuslik reoloogia, kujutiste analüüs, 3D visualiseerimine

Kompetentsid:

Uurimisgrupi kompetents on lai, ulatudes olekuvõrrandite teooriast arvutisimulatsioonide, kujutiste analüüsi ja andmestiku kujutamiseni virtuaalreaalsuses. Teadusteema põhisuund on lühikesekiuliste komposiitide mehaanikaliste omaduste uurimine. Tulemuste peamine rakendusvaldkond on teraskiuga armeeritud betoon – materjal, mis on kogumas populaarsust ehitussektoris. Sellise materjali mehaanikalised omadused sõltuvad suuresti lühikeste kiudude orientatsioonist, mis betoonelementide valmistamisel on omakorda mõjutatud betoonisegu valuprotsessist. Just betoonisegu voolamine ühes sisseseगतud kiududega määrab kiudude orientatsiooni. Katsekehade

kiudude orientatsioon määratakse röntgenkiirte arvutusliku tomograafiaga, millest saadud tulemuste töötlemise järel saadakse kiudude orientatsioon. Pilditöötlemiseks on uurimisgrupp välja arendanud oma tarkvara. Betoonelementide valuprotsessi arvutis simuleerimiseks kasutatakse arvutusliku vedelikumehaanika (CFD) tarkvara, mis on seotud kiudude orientatsiooni kirjeldava võrrandiga. Valmis katsekehade painde- ja lõhenemise katset simuleeritakse arvutis kasutades materiaalseid punkte simuleerivaid diskreetseid elemente. Teoreetilise poole pealt on uurimisgrupp tuletanud olekuvõrrandid, mis kirjeldavad kiudude orientatsiooni jaotuse mõju kiudbetooni mehaanikalistele ja termilistele omadustele.

Ülalmainituga on seotud uurimistöo stereoskoopse pool-immersiivse 3D visualiseerimise (virtuaalne reaalsus) vallas, mida tehakse enda väljatöötatud süsteemil „Kyb3“. Süsteemi peamine ülesanne on visualiseerida kiudude arvutatud tomograafiat ja CFD simulatsioonide tulemusi. Süsteem võimaldab visuaalselt kontrollida ja võrrelda mõõtmiste ning simulatsioonide tulemusi.

Projektid

Heiko Herrmann, PUT1146 "Kiudbetoon-komposiidi reoloogia ja selle mõju pragude käitumisele (1.01.2016–31.12.2019)"

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Targad ja energiatõhusad keskkonnad

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika, 2.1 Ehitusteadused

RHEOLOGY OF COMPOSITES RESEARCH GROUP

Head of the group: senior researcher Heiko Herrmann, hh@cens.ioc.ee

Members of the group: Andres Braunbrück, Dmitri Kartofelev;

PhD student Oksana Goidyk

Keywords: Mechanics of Materials, Continuum Mechanics, Fiber Concrete, Fiber Orientations, Computational Rheology, Image Analysis, 3D Visualization

Frascati areas: 1.1 Mathematics, 2.1 Civil Engineering

Competences:

The competences of the group have a broad range, from constitutive theory over numerical computer simulations and image analysis to virtual reality visualization of scientific data. The main research topic is concerned with the mechanical properties of composites containing short fibres. The core application is steel fibre reinforced concrete, a construction material, whose use is gaining momentum in the building industry. The mechanical properties largely depend on the orientation of the short fibres, which in turn are influenced by the production process of the structural parts made of the fibre concrete. In particular the flow of the fresh concrete mass, which is mixed with the fibres, determines the fibre orientations. Analysis of fibre orientations in experiment samples is done by x-ray computed tomography, fibre orientations are then extracted from the tomography. The group has developed its own software for this purpose. The production process of concrete parts, in particular the casting is simulated using computational fluid dynamics (CFD) coupled to an orientation equation. Further, simulations of bending tests and split tests are performed with particle based discrete element simulations. On the theoretical side, the group has developed constitutive models for the influence of the fibre orientations distribution on the mechanical and thermal properties of the fibre concrete.

Connected to this is the research on stereoscopic semi-immersive 3D visualization (virtual reality), which is conducted on the self developed „Kyb3“ system. The main task of the system is the

visualization of the computed tomography of fibre concrete and CFD simulations. It is used to visually inspect measurement and simulation results.

Projects:

Heiko Herrmann, PUT1146 "Rheology of short fibre reinforced cementitious composites and influence on fracture behaviour (1.01.2016–31.12.2019)"

MITTELINEAARSE LAINELEVI UURIMISRÜHM

Uurimisrühma juht: professor Andrus Salupere, andrus.salupere@taltech.ee

Uurimisrühma liikmed: Arkadi Berezovski, Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev, Martin Lints; Jüri Engelbrecht

doktorant Mart Ratas

Võtmesõnad: Pideva keskkonna mehaanika, sisemuutujate teooria, materjalide mittepurustav testimine, mittelineaarsed lained, solitonid, numbrilised eksperimendid

Teadustöö ülevaade

Mittelineaarse lainelevi uurimisrühma tegevus on fokuseeritud komplekssetes keskkondades toimuva lainelevi seaduspärasuste selgitamisele ja vastavatele rakendustele. Ühest küljest on siin tegu otseülesannetega, mille korral selgitatakse kuidas erinevat tüüpi lained formeeruvad, levivad ja interakteeruvad teadaolevate omadustega materjalides. Teisest küljest on eesmärgiks pöördülesannete lahendamine, mille korral määratakse materjali omadusi, defektide olemasolu või pingeseisundit füüsikalistes eksperimentides mõõdetavate suuruste põhjal.

Peamised uurimissuunad:

- *Pideva keskkonna mehaanika ja sisemuutujate teooria.* Uurimistöo on keskendunud materjalide sisemise struktuuri kirjeldamisele väljade abil. Vastavad matemaatilised mudelid võtavad arvesse mittelineaarseid, dispersiivseid ning temperatuuri efekte, k.a. mitme erineva skaalaga mikrostruktuuride koosmõju mehaaniliste lainete levile.
- *Solitonide ja üksiklainete analüüs.* Rakendatakse erinevaid mudeleid, mis kirjeldavad deformatsioonilaineid mikrostruktuuriga tahkistes ja mehaaniliste lainete levi biomembraanides. Selgitatakse millistel tingimustel saavad formeeruda solitonilised lahendid.
- *Diskreetne spektraalanalüüs.* Keerukate lainestruktuuride ajalis-ruumilise käitumise uurimiseks rakendatakse Fourier' teisendusel põhinevaid spektraalkarakteristikuid.
- *Materjalide mittepurustav testimine.* Töötatakse välja meetodeid mittehomoogeensete materjalide mehaaniliste omaduste määramiseks ja defektide tuvastamiseks.

Hiljutisi tulemusi:

- Materjalide mittepurustavaks testimiseks on väljatöötatud hilistunud ajalisel ümberpöördel põhinev mittelineaarse elastsuslaine spektroskoopia (inglisekeelne lühend: delayed TR-NEWS). Meetodi valiidsust on kinnitanud nii numbrilised kui füüsikalised eksperimendid.
- On tuletatud sidustatud mudel, aksonis liikuva närviimpulsiga kaasneva mehaanilise laine levi kirjeldamiseks. Numbrilised simulatsioonid näitavad, et meelevaldse kujuga sisendist võivad formeeruda solitoni sarnased lained.
- Muusikainstrumentide akustika vallas on tuletatud teoreetiline mudel, mis kirjeldab keele ja barjääri interaktsiooni ning on teostatud selle mudeli eksperimentaalne kontroll keelpillide jaoks.
- On tuletatud matemaatilised mudelid, mis kirjeldavad närviimpulsi leviga kaasnevat soojuse tootmist ning vastavat temperatuuri muutust. Simulatsioonide tulemused on heas kooskõlas varasemate eksperimentaalsete tulemustega.

Projektid:

- PUT434 Laineenergia ümberjagamine mikrostruktuuriga tahkistes, 2014–2017.
- IUT 33-24 Lainelevi komplekssetes keskkondades ja rakendused, 2015-2020.

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Targad ja energiatõhusad keskkonnad

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika; 2.5 Materjalitehnika

Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta:

IUT 33-24 tulemused on rakendatavad materjalide mittepurustaval testimisel ja vastavate seadmete väljatöötamisel.

NONLINEAR WAVE DYNAMICS RESEARCH GROUP

Head of the group: Professor Andrus Salupere, andrus.salupere@taltech.ee

Members of the group: Arkadi Berezovski, Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev, Martin Lints, Jüri Engelbrecht

PhD student Mart Ratas.

Frascati areas: 1.1 Mathematics, 2.5 Materials engineering

Keywords: Continuum Mechanics, Theory of internal variables, Nondestructive testing of materials, nonlinear waves, solitons, numerical experiments

Overview

Activities of the research group are focused on wave propagation in complex media and corresponding applications. On the one hand this includes direct problems where the goal is to analyse how waves of different types propagate and interact in materials which properties are known. On the other hand, the aim is to solve inverse problems, in order to determine properties of materials, existence of defects, residual stresses, etc making use of quantities measured from physical experiments.

Main research directions

- *Theory of continua and internal variables.* The internal structure of materials is described using internal fields. The corresponding mathematical models of wave motion in microstructured solids take into account nonlinear, dispersive and temperature effects and possible multiscale of a microstructure.
- *Solitons and solitary waves.* Boussinesq-type (two-wave) models and KdV-type (one-wave) models which describe waves in microstructured solids and mechanical waves in biomembranes are applied. Conditions for formation of solitonic solutions are determined.
- *Discrete spectral analysis.* Fourier spectrum related spectral characteristics are applied in order to examine time-space behaviour of complex wave-structures.
- *Nondestructive testing of materials.* Nonhomogeneous materials (inc. laminated materials) are under consideration. Methods for determining of mechanical properties of materials and for detection of defects in laminated objects are worked out.

Some recent results:

- An original signal processing method called delayed Time Reversal-Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (delayed TR-NEWS) is worked out. The method could be used to amplify signal in certain regions of the material under Non Destructive Testing. These concepts are shown to work well in numerical simulations and physical experiments.

- A coupled model is derived for describing the propagation of mechanical wave that accompanies the nerve pulse during its propagation along the nerve axon. Numerical experiments demonstrate that soliton-like waves can be formed from arbitrary inputs.
- In acoustics of musical instruments a theoretical model is worked out for describing of interaction between the string and the obstacle. The model is tested experimentally for string instruments.
- Mathematical models are formulated in order to simulate heat production and corresponding temperature changes which accompany the propagation of an action potential. Based on earlier experimental results, several models are proposed. The numerical results are qualitatively similar to experiments.

Projects

- PUT434 Wave energy redistribution in solids with microstructure, 2014–2017.
- IUT 33-24 Wave propagation in complex media and applications, 2015-2020.