

Küberneetika instituut, 2020. aasta teadus- ja arendustegevuse tutvustus

Struktuur 2020. a

Küberneetika instituut

Department of Cybernetics

Direktori kohusetäitja: Jaan Janno, jaan.janno@taltech.ee, +372 620 3052

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

Juht: Tarmo Soomere, rannikutehnika professor, labori juhataja, 6204176;
soomere@cs.ioc.ee

Liikmed: [Maris Eelsalu](#), Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Bert Viikmäe

Doktorandid: [Mojtaba Barzekhar](#), [Mikolaj Jankowski](#), Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Margus Rätsep

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

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

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.

Teadustöö keskendub pinna- ja siselainete dünaamikale, lainetuse rollile rannikuprotsesside käigus ja rannikutehnika ülesannetes ning matemaatiliste meetodite rakendamisele neis valdkondades.

Peamised töösuunad:

- pinnalainete modelleerimine, lainekliima ja laevalainete uuringud
- ekstreemsete üksiklainete, lainekliima ja veetasemete problemaatika
- lainetus rannikutehnikas (settetransport, laineaju, lainerünnak)
- veemasside ja rannasetete dünaamika Lagrange'i vaatekohast
- rannikute funktsioneerimise teooria, rannikupiirkonna integreeritud haldus
- merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine
- kaugseire võimalused rannas toimuvate muutuste kvantifitseerimiseks, lainetuse omaduste analüüsiks, meretaseme mõõtmiseks jne

2020. a selgitati välja Liivi lahe keskmiste ja ekstreemsete veetasemete peamised omadused, ekstreemsete veetasemete kasvu radikaalselt erinev kiirus Läänemere eri osades ning võimalused kaugseire ja geoidi mudeli rakendamiseks mere veetaseme määratlemiseks.

Näidati, et laineaju kõrgused tavaliselt järgivad eksponentsiaaljaotust, kuid Eesti põhjaranniku randades võivad järgida pöörd-Gaussi (Waldi) jaotust ning et Läänemere lõunaranniku ekstreemsed veetasemed ei peegelda statsionaarset protsessi. Töötati välja meetodika laevade liikumise parameetrite määramiseks rõhuanduriga mõõdetud lainete omadustest. Tehti kindlaks 2-12 päevase perioodiga siselainete energia jaotus Läänemeres. Analüüsiti Torrese väina saarte ja Parengarenga (Uus-Meremaa) rannikuprotsesside käigu rakendamist kliimamuutuste mõjude leevendamisel. Moretoni lahe (Austraalia) pinnatransport kvantifitseeriti Lagrange'i koherentsete struktuuride meetodiga.

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Keskkonnaressursside vääristamine

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

Olulised tunnustused 2020

- Tarmo Soomere: Inaugureeriti Leedu teaduste akadeemia välisliikmeks 25.02.2020
- T. Soomere 34. koht Eesti Päevalehe nn „2020. a mõjukate edetabelis” (Eesti Päevaleht LP, 48 (423), 27.11.2020).

Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös 2020

Tarmo Soomere:

- Läti Teaduste Akadeemia välisliige
- Leedu 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:

Algas EEA projekt “Läänemere idaranniku looduslike randade ja rannikuehitiste jätkusuutlik tulevik” (2020–2024) koos Leedu, Läti ja Norra kolleegidega

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

- ekstreemsete veetasemete ja nende korduvusperioodide prognoos kindlustusseltside vajadusteks – Eesti ranniku jaoks lõpetatud 2016, Läti ja Leedu jaoks valmis 2020 (üleandmine veebruaris 2021), leping konfidentsiaalne
- ekstreemsete tuulekiiruste ja nende korduvusperioodide prognoos kogu Eesti territooriumi (sh merealade) jaoks, lõpetatud 2019, lepingud konfidentsiaalsed

Wave Engineering Research Group

Head: Tarmo Soomere, Professor of Coastal Engineering, +372 6204176, soomere@cs.ioc.ee

Members: [Maris Eelsalu](#), Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Andrus Räämet, Bert Viikmäe

PhD students: [Mojtaba Barzekhar](#), [Mikolaj Jankowski](#), Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Margus Rätsep

Visiting PhD students: Kuanysh Kussembayeva, Aigerim Sakhayeva (al-Farabi Kazakh National University), Ilona Šakurova (Klaipėda University)

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

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

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 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, wave theory and applications, surface wave modelling, wave climate studies, and wave-driven phenomena in coastal engineering, with application to integrated coastal zone management.

Emerging foci are Lagrangian transport of substances in marine environment, wave and water level extremes, preventive mitigation of marine-induced hazards, and remote sensing methods for studies of both fundamental questions and applied problems such as variations in the properties of waves in small inland seas.

In 2020 we quantified main properties of mean and extreme water levels in Latvian waters, increase rate of extreme water levels for the entire Baltic Sea, spatial distribution of properties of internal motions with periods of 2–12 days in the Baltic Sea, and possibilities for combining remote sensing and geoid model for specification of offshore water level. Interestingly, extreme water levels at the southern coast of the Baltic Sea do not reflect a statistically stationary process. We showed that wave set-up heights usually follow an exponential distribution but they may follow an inverse Gaussian (Wald) distribution in some beaches of the northern coast of Estonia. We developed a method (based on spectrograms) for the identification of sailing parameters of vessels based on measurements of their wakes using pressure sensors, suggested options for climate change planning based on variability in coastal processes in Torres Strait, Australia, generalised the outcome of long-term measurements at Parengarenga Beach (New Zealand), and quantified the transport patterns in Moreton Bay (Australia) using the technique of Lagrangian coherent structures.

Süsteemibioloogia uurimisrühm

Juht: vanemteadur Marko Vendelin, markov@sysbio.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

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.

Südamelihasrakus on kirjeldatud kaht tüüpi difusioonitakistusi, mis arvatavalt mängivad suurt rolli energia ülekandes, signaliseerimises, apoptootiliste faktorite ja reaktiivsete hapniku radikaalide jaotuses. Oma uuringutes keskendume nende difusioonitakistuste rolli määramisele nii terves südames kui ka patoloogilistes tingimustes. Selleks on kasutusel transgeensed hiired muundatud rakuenergeetika süsteemiga, mis võimaldab meil hinnata erinevate ainete voogude mõju ja ka selle kaudu difusioonitakistuste rolli südamerakkudes. Sel aastal näitasime, kasutades eelpool mainitud hiiri, kuidas rakuenergeetikas olulise metaboliidi, kreatiini, puuduslikkus viib rakusiseste kohanemisteni nii energiaülekandesüsteemides kui ka kaltsiumi signaliseerimises. Antud uuringud on baasiks uuele projektile, mis keskendub erinevate protsesside interatsioonide uurimisele südameliharakus.

Uurimisrühma väljundiks on ka vabatarvara arendamine rühmas väljatöötatud analüüsitehnikatele nagu näiteks dekonvolutsioon konfokaal mikroskoopia piltide parendamiseks, sarkomeeri pikkuse reaajas määramise algoritm. Arendatud tarkvara on tekitanud huvi erinevate firmade seas, kes on soovinud rühmas väljatöötatu rakendamisest oma toodetes. 2020.a. jooksul arendasime ning avaldasime bioloogiliste protsesside kineetika katseandme sisestus- ja töötlusplatfomi.

Tähtsamad projektid:

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

Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Usaldusväärsed IT-lahendused

Frascati valdkond: 1.6 Bioteadused

Systems Biology Research Group

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

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

PhD student: Jelena Branovets

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

The Laboratory of Systems Biology was established in 2007 with the help of 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. This year we demonstrated how creatine deficiency leads to intracellular adaptations in terms of alternative energy transfer systems changes and an impact on calcium handling of cardiomyocytes. These studies form a basis for our future line of research on interactions between processes in cardiomyocytes.

We have been active in developing new techniques and distributing them as open-source tools: deconvolution software for enhancing confocal images, 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. Last year, we developed and published a primary data entry and analysis platform for experiments in kinetics.

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
 - Processing of confocal microscopy images (collaboration with PerkinElmer, USA)
 - 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, Ajith Menon, Stephanie Rendon De La Torre, Iram Tufail, Eero Uustalu, Marek Vilipuu.

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 tihedusfunktsionaali teorial tuginevate mudelite abil uute fotogalvaaniliste materjalide (hübriid-perovskiit 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, vt nt J. Stat. Mech., 2019 (8), 083211. 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/iph/> leiduvad materjalid on võitnud rahvusvaheliselt suure populaarsuse, keskmine allalaadimiste arv on ca 1000 faili päevas. TFU eestvedamisel algatati Euroopa füüsikaolümpiaad; 2020 a juunis Rumeenias toimuvale 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: Inderek 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, econphysics, 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/ipho/> 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).
-

Pöördülesannete ja stohhastiliste meetodite uurimisrühm

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

Uurimisrühma liikmed: Lassi Päivärinta, Margus Pihlak, Kari Kasemets, Emilia Blåsten

doktorandid Nataliia Kinash, Sadia Sadique.

Võtmesõnad: pöördülesanded, murruline difusioon ja lainelevi, hajuvus- ja pöördhajuvus, mitteparameetiline 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 kui ka lahendusmeetodeid.
- *Hajumise otsesed ja pöördülesanded singulaarsetes ja mittlokaalsetes keskkondades.* Teostatakse uuringuid elektromagnetilise ja akustilise hajumise ja pöördhajumise alal singulaarsusi ja mittlokaalsusi sisaldavates keskkondades. Arendatakse multipoolsete antennide matemaatilist teooriat. Seda suunda täiendavad uuringud signaalitöötamise alal, mis baseeruvad modernsetel numbrilistel meetoditel suureskaalaliste pöördülesannete jaoks. Uuritakse pöördülesandeid mittlokaalsete omadustega keskkondades sisalduvate mittehomoogeensuste määramiseks rajapindadel mõõdetud hajunud lainete baasil.
- *Mitteparameetriliste statistiliste meetodite väljatöötamine.* Arendatakse mitteparameetriliste statistiliste meetodite aluseks olevat matemaatilist aparatuuri ja rakendatakse neid meetodeid keskkonna- ja ehitustehnikas.

Viimaste aastate olulisemad projektid:

PUT568 2015–2018, PUT1093 2016–2019, PRG832 2020 – 2024.

Viimaste aastate olulisemad artiklid:

- Blasten, E.; Päivärinta, L.; Sadique, S. (2020). Unique Determination of the Shape of a Scattering Screen from a Passive Measurement. *Mathematics*, 8, 1156.
- Janno, J. (2020). Determination of time-dependent sources and parameters of nonlocal diffusion and wave equations from final data. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 23 (6), 1678–1701.

Olulisemad tulemused 2020. a:

- Tõestati, et etteantud tasandi korral määrab hajunud akustilise laine kaugvälja peaosa üheselt tasandil asuva objekti kuju juhul, kui see objekt ei ole tasandi suhtes antisümmeetriline.

- Tõestati, et mittelokaalsete difusiooni- ja lainevõrrandite ajamuutujast sõltuvate komponentide ja võrrandi parameetrid on samaagselt identifitseeritavad lõpphetkel tehtud mõõtmiste alusel

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 kaugseire aparatuuri täiustamisel, antennisüsteemide arendamisel, keskkonna- ja ehitustehnikas.

Inverse Problems and Stochastic Methods Research Group

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

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

PhD students: Nataliia Kinash, Sadia Sadique.

Keywords: inverse problems, fractional diffusion and wave motion, direct and inverse scattering, 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. Both theoretical and numerical aspects are treated.
- *Direct and inverse scattering in singular and nonlocal media.* Electromagnetic and acoustic direct and inverse scattering in media with singularities or non-local features is studied. Mathematical theory of tripole and more general multipole antennas is developed. This branch is complemented by a development of new signal processing on state-of-the-art computational methods for large-scale inverse problems. Inverse problems to reconstruct inhomogeneities of media with non-local properties by means of measurements of scattered acoustic waves at boundaries are investigated.

- *Elaboration of nonparametric statistical methods.* Theory of nonparametric statistical methods is developed and these methods are applied in environmental and building engineering.

Recent grants: PUT568 2015–2018, PUT1093 2016–2019, PRG832 2020 – 2024.

Recent publications:

- Blasten, E.; Paivarinta, L.; Sadique, S. (2020). Unique Determination of the Shape of a Scattering Screen from a Passive Measurement. *Mathematics*, 8, 1156.
- Janno, J. (2020). Determination of time-dependent sources and parameters of nonlocal diffusion and wave equations from final data. *Fractional Calculus and Applied Analysis*, 23 (6), 1678–1701.

Main results of 2020:

- It was proved that given the plane where the screen is located, the far-field pattern produced by any single arbitrary incident acoustic wave determines the exact shape of the screen, as long as it is not antisymmetric with respect to the plane.
 - It was proved that time-dependent components and parameters of nonlocal diffusion and wave equations are simultaneously identifiable from final data.
-

Matemaatilise analüüsi uurimisrühm

Uurimisrühma juht: Gert Tamberg, vanemlektor, 620 3056, gert.tamberg@taltech.ee

Uurimisrühma liikmed: doktorandid Olga Graf, Olga Meronen

Võttesõnad: valimoperaatorid, lähendusteooria, signaalitöötlus

Teadustöö põhisuunad:

1. 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.
2. Uuritakse valimoperaatorite rakendusi signaalitöötles, eelkõige pildinduses, kus piltide suurendamise ja vähendamise algoritme on loomulik esitada valimriidade abil. Samuti uuritakse valimriidade rakendusvõimalusi suure dünaamilise ulatusega piltide esitamisel ja valimoperaatorite rakendusi aegridade analüüsis ning lühiajaliste prognooside teostamisel.
3. Uuritakse murruliste tuletiste valimridu ning valimridu murrulist järku Fourier' teisenduse korral.

Põhitulemused:

1. Me uurisime valimoperaatoreid ühebitise võendamise korral, muuhulgas ka murrulis järku Fourier' teisenduse korral.
2. Uurisime valimriidade kasutamist aegridade analüüsis ning lühiajaliste prognooside tegemisel. Konkreetse näitena kasutasime valimridu autonoomsete sensorite korral kasutatava energia hulga prognoosimisel. Loodi ka riistvaraline lahendus.
3. Kasutasime Kantorovichi-tüüpi valimoperaatoreid tuletiste lähendamisel.

Täiendav info

Frascati valdkond 1.1

Olga Grafi (esimene autor) artikkel "One-bit unlimited sampling" IEEE ICASSP 2019 kogumikus (ETIS 3.1) sai ülalmainitud konverentsil auhinna "Best Student Paper Award". Olgu mainitud, et ICASSP (International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing) on kõrge tasemega ja maailma suurim konverents signaalitöötlemise alal.

G. Tamberg on AMS-i, SIAM-I, SIAM IS-I, IEEE, IEEE SPS ja EMS liige.

Uurimisrühma poolt saadud tulemused on rakendatavad pilditöötlemise tarkvara väljatöötamisel, signaalitöötlemise ja IoT riist- ja tarkvara väljatöötamisel.

Mathematical Analysis Research Group

Head of the group: Gert Tamberg, Senior Lecturer, 620 3056, gert.tamberg@taltech.ee

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

Keywords: sampling operators, approximation theory, signal processing

Main directions of research are as follows:

1. 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.
2. 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.
3. We study representations of the derivatives (also fractional derivatives) with Kantorovich-type sampling operators. We study sampling in fractional Fourier framework.

Main results:

1. We studied sampling operators for one-bit sampling.
 2. We applied sampling operators in time series analysis and linear prediction, especially for energy prediction. A hardware realization was proposed.
 3. We studied Kantorovich-type sampling operators for derivative sampling.
-

Rühma- ja poolrühmateooria uurimisrühm

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

Uurimisrühma liikmed: emeritprofessor Peeter Puusemp, assistent Piret Puusemp, doktorant Märt Umbleja

Valdkond: Loodusteadused, Matemaatika

Võtmesõnad: rühmateooria, endomorfismimonoid, algebra rakendused krüptograafias ja matemaatilises juhtimisteoorias

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 rühmade korral alustasime uurimist, millised neist on määratud oma endomorfismimonoidiga. Mitte määratud rühmade korral anda nende rühmade kirjeldused, mille endomorfismimonoid on isomorfne etteantud kaudu ja uurida nende määratavust endomorfismide abil kõigi rühmade klassis. Nn. väikeste 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, Dieudonne' determinant) kasutamist juhtimissüsteemide matemaatilises teoorias (koostöö Ü. Kotta ja J. Belikoviga);
- kvaternioonide ja duaalsete kvaternioonide rühma rakendusi satelliidi asendikontrollis;
- tsüklilisel rühmal või poolrühmal põhineva Diffie-Hellmani salajase võtme jaotuse uurimist.

Olulisemad tulemused: Kasutades diskreetse geomeetria tulemusi, täpsustati DH ühivõtme suurima esinemise tõenäosuse ülemist tõket.

Täiendav info:

Uurimistematika on seotud TTÜ TA suunaga usaldusväärsed IT-lahendused.

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

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

Group and Semigroup Theory Research Group

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

Members of the group: Professor emeritus Peeter Puusemp, assistant Piret Puusemp, PhD student Märt Umbleja

Fields of Research: Natural Sciences, Mathematics

Keywords: group theory, endomorphism semigroups, applications of algebra in cryptography and mathematical control theory

Overview of research: 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: The distribution of the multi-party Diffie-Hellman common secret keys were studied if the platform group is an arbitrary finite cyclic group. By applying the methods from discrete geometry, we improved the upper bound for the maximal probability of the DH common secret keys.

Komposiitide reoloogia uurimisrühm

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

Uurimisrühma liikmed: Andres Braunbrück, Dmitri Kartofelev;

doktorant Oksana Goidyk, Mark Heinstein

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 sissesegatud 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 katsed simuleeritakse arvutis kasutades materiaalseid punkte simuleerivaid diskreetseid elemente. Teoreetilise poole pealt on uurimisgrupp tuletanud olekuvõrrandid, mis kirjeldavad kiudude orientatsiooni jaotuse mõju kiudbetooni mehaanilistele ja termilistele omadustele.

Ülalmainituga on seotud uurimistöö 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, Mark Heinstein

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; Mart Ratas; Jüri Engelbrecht

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

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.* Keskendutakse 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.
- *Mittelineaarse lainelevi numbriline analüüs.* Keerukate lainestruktuuride ajalisruumilise käitumise uurimiseks töötatakse välja Fourier' teisendusel ja Haari lainikutel põhinevaid numbrilisi meetodeid.
- *Materjalide mittepurustav testimine.* Töötatakse välja meetodeid mittehomoogeensete materjalide mehaanikaliste omaduste määramiseks ja defektide tuvastamiseks.

Hiljutisi tulemusi

- 2020. aastal valmis M. Ratase doktoritöö, kus keskenduti Haari lainikute rakendamisele mittelineaarse lainelevi numbrilisel analüüsil.
- On valminud monograafia „Modelling of Complex Signals in Nerves“, mis ilmub Springeri kirjastuses 2021. aastal.
- Muusikainstrumentide akustika vallas on tuletatud teoreetiline mudel, mis kirjeldab keele ja barjääri interaktsiooni ning on teostatud selle mudeli eksperimentaalne kontroll keelpillide jaoks.
- Materjalide mittepurustava testimise vallas on jõutud praktiliste rakenduste väljatöötamiseni. See toimub koostöös ehituse ja arhitektuuri instituudiga PRG737 raames.

Projektid

- 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, Mart Ratas, Jüri Engelbrecht

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

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. Corresponding mathematical models of wave motion in microstructured solids take into account nonlinear, dispersive and temperature effects, and multiscale of a microstructure.

- *Solitons and solitary waves.* Different models which describe wave propagation in microstructured solids and mechanical waves in biomembranes are applied. Conditions for formation of solitonic solutions are determined.
- *Numerical analysis of nonlinear wave propagation.* Fourier transform and Haar wavelets related numerical methods are elaborated in order to examine time-space behaviour of complex wave-structures.
- *Nondestructive testing of materials.* Methods for determining of mechanical properties of nonhomogeneous materials and for detection of defects in laminated objects are worked out.

Some recent results

- M.Ratas defended PhD thesis which focused on application of Haar wavelets for numerical analysis of nonlinear wave propagation.
- A monograph entitled “Modelling of Complex Signals in Nerves” is accepted by Springer and will be published in 2021.
- 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.
- Activities in the field of non-destructive testing of materials have led to the development of practical applications. This takes place in cooperation with department of Civil engineering and Architecture (PRG 737).

Projects

- IUT 33-24 Wave propagation in complex media and applications, 2015-2020.