

# Arvutisüsteemide instituut, 2016. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

## Arvutisüsteemide instituut

### Department of Computer Systems

Margus Kruus, [margus.kruus@ttu.ee](mailto:margus.kruus@ttu.ee), +372 620 2250

### Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade lõikes

#### 1. Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus (Centre of Dependable Computing Systems Design), juht professor Jaan Raik;

Apneet Kaur, nooremteadur, doktorant  
Merle Aadli, projektijuht  
Sergei Devadze, teadur  
Peeter Ellervee, professor  
Maksim Gorev, teadur  
Ranganathan Hariharan, nooremteadur, doktorant  
Thomas Hollstein, külalisprofessor  
Karl Janson, nooremteadur, doktorant  
Maksim Jenihhin, vanemteadur  
Gert Jervan, infotehnoloogia teaduskond, dekaani kt  
Artur Jutman, vanemteadur  
Hannes Kinks, nooremteadur, doktorant  
Sergei Kostin, teadur  
Mairo Leier, teadur  
Dmitri Mihhailov, teadur  
Behrad Niazmand, nooremteadur, doktorant  
Siavoosh Payandeh Azad, nooremteadur, doktorant  
Tsotne Putkaradze, nooremteadur, doktorant  
Jaan Raik, professor, keskuse juht  
Uljana Reinsalu, teadur  
Artjom Rjabov, nooremteadur, doktorant  
Tarmo Robal, teadur  
Priit Ruberg, nooremteadur, doktorant  
Hardi Selg, tehnik,  
Aleksander Sudnitsõn, dotsent  
Kalle Tammemäe, dotsent  
Anton Tšertov, teadur  
Raimund-Johannes Ubar, professor.

#### 1.2. Teadustöö lühikirjeldus (tuua välja, millistele sisulistele uurimisvaldkondadele/-temaatikale on uurimisrühma T&A keskendunud)

Uurimisrühma teadustöö põhisuunad hõlmavad laia teemade ringi digitaalsüsteemide (k.a. mitme- ja paljutuumalised süsteemid) projekteerimise, usaldusvääruse, verifitseerimise ja testimise vallast. Aastal 2016 keskenduti järgmistele teemadele:

- Digitaal tehnoloogia vananemisprotsesside ja noorendamisstrateegiate uurimine (koostöö Politecnico di Torino ja PUCRS, Brasiiliaga);
- Paljutuumaliste süsteemide usaldusväärus, testimine ja rikete haldus (koostöö firmadega IBM, Recore Systems, Testonica Lab OÜ);
- Digitaalsüsteemide testimise sardinstrumentid (koostöö firmaga Testonica Lab OÜ);
- Diagnostiline testigenererimine ja mikroprotsessorite test;
- Arvutisüsteemide verifitseerimine (koostöö Saksa Kosmosekeskusega DLR);
- Arvutus algoritmide kiirendamine, kasutades programmeeritavaid loogikaskeeme (koostöö Aveiro Ülikooliga, Portugal);
- Algoritmid, sensorid ja signaalitöötlus biomeditsiini rakendustes;

- Arvutisüsteemide võimsustarbe modelleerimine (koostöö Politecnico di Torino ja suurfirmaga STMicroelectronics).

Uurimisrühm on mitmete üle-euroopaliste aktsioonide eestvedaja, koordineerides Horisont 2020 RIA projekti IMMORTAL ja Horisont 2020 Twinning projekti TUTORIAL. Uurimisrühm osaleb ka 7. RP europrojektis BASTION ja Arvutisüsteemide instituudi poolt koordineeritavas teaduse tippkeskuses EXCITE ning on saanud rahastamisotsuse Marie Skłodowska Curie ITN projektile RESCUE.

The research covers a wide range of topics in the areas of digital systems' (including multi-/many-core systems) design, reliability, verification and test:

- Study of aging and rejuvenation in nanometer technologies (cooperation with Politecnico di Torino and PUCRS, Brazil);
- Dependability, test and fault management for many-core systems (cooperation: IBM, Recore Systems, Testonica Lab OÜ);
- Embedded test instruments for digital systems (cooperation: Testonica Lab OÜ);
- Diagnostic test generation and microprocessor testing;  
Verification of computing systems;
- Acceleration of algorithms in programmable logic (cooperation: Aveiro University, Portugal);  
Algorithms, sensors and signal processing in biomedical applications;
- Modeling power in computing systems (cooperation: Politecnico di Torino, STMicroelectronics).

The research group is the initiator of several pan-European actions. It coordinates the Horizon 2020 RIA IMMORTAL and the Horizon 2020 Twinning action TUTORIAL. It also participates in the FP7 collaborative research project BASTION and in the national centre of research excellence EXCITE coordinated by the Department. The research group coordinates the Marie Skłodowska Curie ITN RESCUE project that has been accepted in 2016.

### 1.3. Uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus (seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega)

Usaldusväärsete arvutisüsteemide projekteerimise uurimisrühm teeb erinevate rakendusuringute raames tihedat koostööd Eesti (Testonica Lab OÜ, ELIKO OÜ) ja välismaa (IBM, Infineon, Bosch, Cadence, Recore Systems) ettevõtetega. Samuti on uurimisrühm mitmete rahvusvaheliste tippkonverentside peakorraldajaks. Aastal 2016 leidsid uurimisrühma juhtimisel aset järgmised konverentsid: IEEE/IFIP VLSI-SoC (üldjuht: J. Raik, programmikomitee esimees: T. Hollstein, IEEE ReCoSoC (üldjuht: G. Jervan), BEC (programmikomitee esimees: P. Ellervee).

The research group of Dependable Computing Systems' Design cooperates with several Estonian (Testonica Lab OÜ, ELIKO OÜ) and foreign (IBM, Infineon, Bosch, Cadence, Recore Systems) companies in the frames of applied research actions. In addition the research group has organized several top-level International conferences. In 2016 the following conferences were organized: IEEE/IFIP VLSI-SoC (General Chair: J. Raik, Programme Chair: T. Hollstein, IEEE ReCoSoC (General Chair: G. Jervan), BEC (Program Chair: P. Ellervee).

### 1.4. Aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused

Uurimisrühma aasta kõige olulistemateks teadustulemusteks olid artiklid mainekates ajakirjades IEEE Transactions on VLSI ja Springeri JETTA ning samuti kolm publikatsiooni Euroopa kõige olulisemal arvutitehnika-alasel teaduskonverentsil DATE.

The most significant research results of the group were papers at IEEE Transactions on VLSI and Springer JETTA as well as 3 publications at the most significant computing systems' research event in Europe, the DATE Conference.

### 1.5. Loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;

Horizon 2020 RIA "IMMORTAL – Integrated Modelling, Fault Management, Verification and Reliable Design Environment for Cyber-Physical Systems (1.03.2015–28.02.2018)", Jaan Raik, co-ordinator.

"Horizon 2020 Twinning to Strengthen Tallinn University of Technology's Research and Innovation Capacity in Nanoelectronics Based Dependable Cyber-Physical Systems (TUTORIAL) (1.01.2016–31.12.2018)", Jaan Raik, co-ordinator.

FP7 Collaborative Research "Board and SoC Test Instrumentation for Ageing and No-Failure-Found (BASTION) (1.01.2014–31.12.2016)", Jaan Raik, partner.

IUT19-1 "Dependable Multi-Core Computing Systems (1.01.2014–31.12.2019)", Jaan Raik

### 1.6. Uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest);

Peamised ettevõtluspartnerid: (IBM, Infineon, Bosch, Cadence, Recore Systems, Göpel electronic, iROC, Aster Technologies, Testonica Lab OÜ); akadeemilised partnerid: (Politecnico di Torino, TU Delft, TU Graz, Twente, Lund, Linköping, KTH, Aveiro, Turku, PUCRS – Brasiilia, UPC Valencia) ja institutsioonid (Saksa kosmosekeskus DLR).

### 1.7. Uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

- Jenihhin, Maksim; Squillero, Giovanni; Copetti, Thiago Santos; Tihomirov, Valentin; Kostin, Sergei; Gaudesi, Marco; Vargas, Fabian; Raik, Jaan; Sonza Reorda, Matteo; Bolzani Poehls, Leticia; Ubar, Raimund; Medeiros, Guilherme Cardoso (2016). Identification and Rejuvenation of NBTI-Critical Logic Paths in Nanoscale Circuits. Journal of Electronic Testing-Theory and Applications, 273–289, 10.1007/s10836-016-5589-x.
- Aleksejev Igor; Jutman Artur; Devadze Sergei; Shibin Konstantin (2016). Optimization of Boundary Scan Tests using FPGA-based Efficient Scan Architectures. Journal of Electronic Testing-Theory and Applications, 245–255.
- Jafri, S.M.A.H.; Tajammul, M.A.; Hemani, A.; Paul, K.; Tenhunen, H.; Plosila, J.; Ellervee, P. (2016). Polymorphic Configuration Architecture for CGRAs. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 24 (1), 403–407, 10.1109/TVLSI.2015.2402392.

### 1.8. Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest.

Akadeemik Raimund Ubar, Elutöö preemia 2016

Professor Jaan Raik, Valgetähe IV klassi teenetemärk

## 2. Biorobotika keskus (Centre for Biorobotics), juht professor Maarja Kruusmaa;

### 2.1. Uurimisrühma liikmed;

Andres Ernits, insener

Juan Francisco Fuentes Perez, nooremteadur (doktorant)

Juri Gavšin, teadur

Andres Hunt, insener (doktorant)

Kaia Kalev, nooremteadur (doktorant)

Maarja Kruusmaa, professor, uurimisgrupi juht

Mihkel Läänelaid, juhiabi

Christian Meurer, nooremteadur (doktorant)

Jaan Rebane, insener

Asko Ristolainen, teadur

Taavi Salumäe, teadur

Gert Toming, insener (doktorant)

Jeffrey Andrew Tuhtan, teadur

### 2.2. Teadustöö lühikirjeldus

Bioloogiast inspireeritud robotid ja andurid, allveerobotika ning veevoolu tajumine, andurid veevoolu tajumiseks ning veelaluste signaalide analüüs.

Biologically inspired robots and sensors, underwater robotics, flow sensing, sensors for flow sensing and sensor data interpretation.

### 2.3. Loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;

EEIS BONUS FISHVIEW, "Assessing fish passibility using a robotic fish sensor and hydrodynamic imaging" ((1.04.2014–31.03.2017), Maarja Kruusmaa

EC H2020 LAKHsMI, VFP15016 "Sensors for LARge scale HydrodynaMIC Imaging of ocean floor (LAKHsMI) (1.04.2015–31.03.2019)", Maarja Kruusmaa,

EC FP7 ITN ROBOCADEMY, VFP635 "European Academy for Marine and Underwater Robotics (1.01.2014–31.12.2017)", Maarja Kruusmaa

Eesti IT Tippkeskus EXCITE, Maarja Kruusmaa

EC ICT FP7 STREP MANGO – SUNRISE

IUT33-9 "Bioloogiast inspireeritud allveerobotid (1.01.2015–31.12.2020)", Maarja Kruusmaa,

### 2.4. Uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Muhammad, N.; Toming, G.; Tuhtan, J.; Musall, M.; Kruusmaa, M. (2016). Underwater map-based localization using flow features. *Autonomous Robots*, 1–20, 10.1007/s10514-016-9558-0.
2. Strokina, N.; Kämäräinen, J.-K.; Tuhtan, J. A.; Fuentes-Pérez, J. F.; Kruusmaa, M. (2015). Joint Estimation of Bulk Flow Velocity and Angle Using a Lateral Line Probe. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 99, 1–13, 10.1109/TIM.2015.2499019
3. Chemori, A.; Kuusmik, V.; Salumäe, T.; Kruusmaa, M. (2016). Depth Control of the Biomimetic U-CAT Turtle-Like AUV With Experiments in Real Operating Conditions. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation (IEEE ICRA 2016)*.

## 3. Arukate süsteemide keskus (Centre for Intelligent Systems), juht dotsent Eduard Petlenkov;

### 3.1. Uurimisrühma liikmed

Eduard Petlenkov, dotsent, keskuse juht

Juri Belikov, dotsent (järel doktorantuuris, leping peatatud)

Boris Ivan Godoy Torres, teadur (järel doktor)

Martin Jaanus, dotsent

Aleksei Tepljakov, teadur

Kadri Umbleja, assistent (doktorant)

Kristina Vassiljeva, dotsent

doktorandid, kes ei ole TTÜ töötajad:

Andrei Aksjonov (juhendajad prof. Valery Vodovozov ja dots. Eduard Petlenkov)

Igor Artemtšuk (juhendaja dots. Eduard Petlenkov)

Ahmet Köse (juhendaja dots. Eduard Petlenkov)

Vitali Vansovitš (juhendajad dots. Eduard Petlenkov, dots. Kristina Vassiljeva)

### 3.2. Teadustöö lühikirjeldus

Uurimisrühma teadustöö põhisuundadeks 2016. aastal on olnud:

- Murrulistel tuletistel põhinevate modelleerimise ja juhtimise meetodite arendus (k.a. FOMCON tarkvarapaketi arendus <http://fomcon.net>)
- Eeluringud tehniliste võimaluste loomiseks sünnesteesia neurooloogilise fenomeni teaduslikuks uurimiseks virtuaalreaalsuse keskkonnas
- Arukad juhtimisalgoritmid elektriaamitega juhitud süsteemide jaoks (koostöö TTÜ Energeetikateaduskonnaga)
- Arukad adaptiivsed algoritmid soojuselektriamaade efektiivsemaks juhtimiseks

- Tehisintellekti meetoditel põhinevad kindlustusriskide hindamise meetodid
- Õpilaste käitumise modelleerimine ja selle analüüs.

The main research activities of the Centre for Intelligent Systems in 2016:

- Development of Fractional Order Modelling and Control Algorithms (including development of FOMCON toolbox <http://fomcon.net>)
- Preliminary research on development of virtual reality based system for study of synesthesia psychological phenomena.
- Intelligent Control Algorithms for Multidimensional Motor Driven Applications (cooperation with the Department of Power Engineering)
- Intelligent Control Algorithms for efficient control of District Heating Plants
- Development of an Artificial Intelligence based system for estimation of insurance risks.
- Modelling and model based analysis of students' behavior.

### 3.3. Uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus

Arukate süsteemide keskus teeb erinevate rakendusuringute raames tihedat koostööd Eesti ja välismaa ettevõtetega - Ergo Insurance SE, Valmet Automation OY, AES OÜ, LDI Innovations OÜ, Eesti Energia, Utilitas OÜ, Crytek.

Arukate süsteemide keskuse juht Eduard Petlenkov on IKT Kutsenõukogu liige, Eesti doktorikoolide nõukogu juhatuse liige, ABB ja TTÜ koostöönõukoja liige ning IFAC (International Federation of Automatic Control) tehnilise komitee (Computational Intelligence in Control) liige.

Arukate süsteemide keskuse töötajad on mitmete rahvusvaheliste konverentside programm komiteede liikmed.

Kadri Umbleja on I-III kooliastme Informaatika laiendatud õppekava väljatöötamise töörühma liige.

Arukate süsteemide keskuse teadlaste poolt väljatöötatud tehisintellekti meetoditel põhinev juhtimise algoritm on edukalt rakendatud biomassil töötava soojusjaama juhtimiseks Raplas.

Centre for Intelligent Systems is active in cooperation with several Estonian and foreign companies in the frames of applied research actions - Ergo Insurance SE, Valmet Automation OY, AES OÜ, LDI Innovations OÜ, Eesti Energia, Utilitas OÜ, Crytek.

Associate professor Eduard Petlenkov is a member , of the Information Technology and Telecommunication Sector Skills Souncil, member of the Board of the Estonian Doctoral Schools Council, member of ABB and TUT cooperation council and the member of IFAC Computational Intelligence in Control Technical Committee.

Kadri Umbleja is a member of the working group developing study programme in Informatics for Schools.

Artificial Intelligence methods based control algorithm developed by the researchers of the Centre is successfully applied to control of a Biomass District Heating Plant in Rapla.

### 3.4. Aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused

- Välja on töötatud murruliste juhtimisteoorial põhinev regulaatori häälestusalgoritm, mida saab kasutada tööstuses PID regulaatoritega suletud süsteemide juhtimiskvaliteedi parendamiseks ilma eksisteerivate ahelate lahtiühendamiseta ja potentsiaalselt ka tootmisprotsessi takistamata.
- Väljatöötatud algoritm on realiseeritud nii tarkvaralise funktsionaalse plokina kui ka riistvaraliselt.
- On identifitseeritud tehisnärvivõrkudel põhinev maasoojussüsteemi mudel (koostöö Ehitusteaduskonnaga).
- Välja on töötatud ning laboratoorselt katsetatud tehisintellekti meetoditel põhinevad algoritmid sildkraana ja ABS pidurite juhtimisalgoritmid (koostöö Energeetikateaduskonnaga).
- Läbi on viidud eeluuringud sünesteesia neuroloogilise fenomeni teaduslikuks uurimiseks vajaliku seadme projekteerimiseks ja virtuaalreaalsusel põhineva keskkonna loomiseks.
- Välja on töötatud ning hajusjuhtimissüsteemis tarkvaraliselt realiseeritud arukad juhtimisalgoritmid kaht erinevat tüüpi soojuselektrijaamade juhtimiseks. Üht algoritmi on juba edukalt rakendatud Rapla soojusjaama juhtimiseks.

- Välja on töötatud tehisintellekti meetoditel põhinev süsteem liikluskindlustuse riskide efektiivsemaks hindamiseks.
- Välja on töötatud mudel, mis võtab aluseks varasemate õpilaste käitumise ja selle abil ennustab jooksvalt praeguste õpilaste eeldatavat lõpphinnet ja lõpetamise aega.
- On uuritud, kuidas eri vanuses, eri tausta ja ettevalmistusega koolilapsed programmeerimist õpivad.
- Välja on töötatud uudne elektroforeesi meetod ja seade (koostöö keemiainstituudiga).
- Development of a fractional-order retuning controller that can be incorporated into PID controllers based industrial systems and improve control quality without making changes in existing control loops.
- The developed algorithm is implemented both in software functional blocks and hardware.
- Artificial Neural Networks based model of Ground Source Heat Pump is identified and applied to estimation of ground temperature changes (in cooperation with Department of Civil Engineering).
- Artificial Intelligence Methods based algorithms for control of 3D crane and ABS are developed and tested on laboratory prototypes (cooperation with Department of Power Engineering).
- A concept of virtual reality based system for study of synesthesia psychological phenomena is designed.
- Intelligent algorithms for control of two types of District Heating Plants are developed and implemented in Distributed Control Software Valmet DNA as functional blocks. One of the algorithms is already successfully tested and applied for control of a District Heating Plant in Rapla.
- Artificial Intelligence Methods based system for estimation of motor insurance risks is developed and implemented in software.
- A model that estimates students study results on the basis of their behavior during the study process is developed.
- It is studied how school children of different age and background success in study of programming.
- A novel measurement method and device for capillary electrophoresis are designed (cooperation with the Department of Chemical Engineering).

### 3.5. Loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;

LEP15111 Tehisintellekti meetoditel põhinev klientide klassifitseerimise ja riskigruppide määramise süsteem liikluskindlustuse jaoks (vastutav täitja Eduard Petlenkov)

LEP16056 Lemmiklooma tark söögiplats (vastutav täitja Eduard Petlenkov)

HITSA projekt Virtuaalse ja täiendatud reaalsuse labori loomine (vastutav täitja Eduard Petlenkov)

HITSA projekt Mobiilseid ning kauglaboreid sisaldava õppekeskkonna kvaliteedi uuele tasemele viimine (vastutav täitja Martin Jaanus)

### 3.6. Uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest);

Akadeemilised partnerid:

Prof. Concepción A. Monje, University Carlos III de Madrid, Spain

Prof. Igor Podlubny, Technical University of Kosice, Slovak Republic

Dr. Ivo Petráš, Technical University of Kosice, Slovak Republic

Dr. Emmanuel A. Gonzalez, Jardine Schindler Elevator Corporation, Philippines

Prof. Yevgeni Bodyanskiy, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

Prof. Costas Psychalinos, University of Patras, Ríó, Greece

Dr. Srinivasan, Seshadhri, Berkeley Education Alliance for Research, Singapore

Prof. Yoash Levron, Technion, Israel

Prof. Manabu Ichino, Tokyo Denki University, Japan

Professor John L. Nietfeld, North Carolina State University, USA

Professor Dieter Kranzmueller, Ludwig-Maximilians-Universität München, The Leibniz Supercomputing

Centre, Germany

Peamised ettevõtluspartnerid: Ergo Insurance SE, Valmet Automation OY, AES OÜ, LDI Innovations OÜ, Eesti Energia, Utilitas OÜ, Crytek

### 3.7. Uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

- Tepljakov, Aleksei; Gonzalez, Emmanuel A.; Petlenkov, Eduard; Belikov, Juri; Monje, Concepción A.; Petráš, Ivo (2016). Incorporation of fractional-order dynamics into an existing PI/PID DC motor control loop. *ISA Transactions*, 60, 262–273.
- Belikov, Juri; Kotta, Ülle; Tepljakov, Aleksei (2016). Algebraic approach for analysis and control of a water tank system. *Information Technology And Control*, 45 (2), 175–183
- Vansovitš, V.; Tepljakov, A.; Vassiljeva, K.; Petlenkov, E. (2016). Towards an Intelligent Control System for District Heating Plants: Design and Implementation of a Fuzzy Logic based Control Loop. *IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics [INDIN'16]*, 18-21 July 2016, Futuroscope-Poitiers, France . IEEE Industrial Electronics Society, 405–410.

### 3.8. Uurimisgrupis osalenud järel doktorite ning TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötajate loetelu

Uurimisgrupis osalenud järel doktor:

Boris Ivan Godoy Torres, The University of New South Wales, Austraalia, september 2016 - aprill 2017, baasfin.

TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötaja:

Juri Belikov, Technion University, Haifa, Israel, oktoober 2015 - september 2017. Järel doktorantuuri toetas Technion.

Eesti Teadusagentuur rahuldab Juri Belikovi Mobilitas Plus tagasipöörduva teadlase toetuse taotluse MOBTP36 (alates oktoobrist 2017).

### Uurimisrühma muu informatsioon aruandeaasta T&A kohta:

Aleksei Tepljakov viis läbi ühepäevase koolituse *IEEE Circuits and Systems Society* poolt korraldatud talvekoolis, Brno, Tšehhi.

Eduard Petlenkov ja Kristina Vassiljeva on esinenud plenaarettekannetega rahvusvahelisel konverentsil *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing*, Lviv, Ukraine