

## TEADUSE TIPPKESKUS CEBE

Lõppemas on 5. aasta tippkeskuse CEBE eksisteerimist. Aasta on osutunud edukaks, eeskätt järelkasvu osas – tervelt 9 doktoritööd jõudis tänavu kaante vahele ja on ära kaitstud. Senine uurimistöö on hakanud vilja kandma. Uudiskiri ongi eeskätt pühendatud ülevaate andmiseks uute doktorite poolt saadud teadustulemustest.

Edukalt lõppes ka europrojekt „DIAMOND“, kus tööstuspartneriteks olid maailma tippfirmad IBM ja Ericsson, ning mida koordineerisid CEBE teadlased prof. Jaan Raiki juhtimisel. Projekti hindajad olid üllatunud tulemuste kõrgest innovatiivsusest ning andsid projektile üksmeelselt hinde „suurepärase“. Projektis osales ka CEBE-ga tihedat koostööd tegev TTÜ spin-off firma Testonica Lab, kes viis praktilise rakenduseni mitmed CEBE teadlaste saadud uued teadustulemused. Koostöös firmaga Testonica Lab on märkimisväärselt laienenud ka CEBE rahvusvaheline haare, milles eriti tuleks esile tõsta tellimustööd CERN'ilt (Šveits) uudse testimisaparatuuri välja töötamiseks ja koostööd saksa firmaga Göpel, kellega koos on jõutud kahe uue tootega maailmaturule.

CEBE uurimistöö on koondunud 7 temaatikale: töökindlad sardsüsteemid, süsteemide verifitseerimine, test ja diagnostika, sensorsignaaltöötlus ja impedantspektroskoopia, pooljuhttehnoloogia, optilised diagnostikameetodid kardioloogias, biovedelike optika ja ajusignaalide interpreteerimine. Uudisleht annab lühülevaate nendes valdkondades viimasel ajal saadud tulemustest.

Interdistsiplinaarsus on tänases tehnikateaduste maailmas aja nõue, mis tuleneb sardsüsteemide ja küberfüüsikaliste süsteemide üha laiemast levikust. CEBE partnerid tulevadki kolmest eri valdkonnast – arvutitehnika, elektroonika ja biomeditsiinitehnika eesmärgiga seljad kokku panna, et koos eri distsipliinide piiridel uusi teadus- ja rakendustulemusi saada. Märkimisväärseks verstaapostiks on näiteks ajakirjas IEEE Transaction on Biomedical Engineering äsja ilmunud ühisartikkel Arvutitehnika instituudi ja Tehnomeedikumi teadlaste poolt, kus põimusid kaks kompetentsi, ühelt poolt neeruasendusravi optiline monitooring ja teiselt poolt digitaalsüsteemide diagnostika alane kompetents. Samuti tuleks esile tõsta CEBE teadlaste koostööd uute signaalitöötlusprotsessorite ja ajusignaalide analüsaatori väljatöötamisel. Viimasel juhul on valminud kaks prototüüpi, praktiline katsetamine haiglas seisab lähiajal ees.

## LÕPPES CEBE KOORDINEERITUD EURO-PROJEKT DIAMOND

22. veebruaril 2010 tõdeb kolumnist Timothy Prickett Morgan New Yorki arvutiportaalis IT Jungle, et on saanud keerulised ajad, kus kõik arvutifirmad on sunnitud koostööle. Ta lisab, et vaid Intel üksi suudab veel iseseisvalt

hakkama saada. Artikkel räägib suurkorporatsioonidest IBM, Microsoft, Sony, Samsung, Toshiba, NEC, AMD jt., mis on üheskoos moodustanud konsortsiumi uue põlvkonna arvutikiipide väljatöötamiseks. Lisaks teatab Morgan, et IBM-l on olemas ka „imerelv“ DIAMOND, mis aitaks tulevikus kiipide tootmiskuludel oluliselt kokku hoida.



*Europrojekti DIAMOND rahvusvaheline juhtgrupp, ees keskel projekti koordinaator TTÜ professor Jaan Raik*

Nüüd, kolm aastat hiljem võib DIAMOND-ist rääkida minevikuvormis. Tegemist oli aktsiooniga, mille algatajateks ja juhtideks olid CEBE teadlased. Selles 7. Raamprogrammi projektis osales 8 partnerit kuuest eri riigist ning projekti eelarve oli 3,8 miljonit eurot. Partnerite hulgas oli teadus- ja arendus- ja teadusmahukaid ettevõtteid ning kaks suurkorporatsiooni – IBM ja Ericsson. Hiljuti peeti Tehnikaülikoolis DIAMOND-i lõppkohtumine, kus Euroopa Komisjoni hindajad omistasid projektile kõrgeima hinde: „suurepärase“. Mil moel siis CEBE ja DIAMOND maailma arvutitööstust kriisist välja aidata püüdsid, sellest järgnevas.

Tänapäeva arvutikiibid koosnevad miljarditest komponentidest-lülitustest, milliste mõõtmed lähenevad aatomite omale. Ühest küljest muutub nii keeruka kiibi vigadeta projekteerimine ülejõu käivaks. Teiselt poolt on iga järjekordse põlvkonna lülitused aina tundlikumad väliskeskkonna kiirgusest tingitud mõjudele, mis esitab üha rangemaid nõudmisi kiipide testimise kvaliteedile. Samas on kiibi testimise kulud muutunud suuremaks kui nende valmistamise kulud. See on paradoks ning samas ka peavalu arvutitööstusele.

CEBE teadlaste poolt juhitud 7. Raamprogrammi projektis DIAMOND töötati välja integreeritud lahendus selle paradoksiga võitlemiseks. Arendati välja ühtne käsitusviis väga erinevat tüüpi riketele ja vigadele kiipides. Esiteks töötati välja meetodid projekteerijate eksimustest põhjustatud vigade automaatseks lokaliseerimiseks ja

parandamiseks. Kuni tänaseni on projekteerimisvigade otsimine ja korrigeerimine olnud ikka aeganõudev käsitöö. Teiseks õnnestus seda sama meetodit kohandada ka kiirgusest tingitud riistvara tõrgete analüüsiks. Seni on seda tüüpi rikkeid peetud probleemiks peamiselt lennunduse ja kosmonautika vallas, kus kiipidele mõjub kosmiline kiirgus. Tänapäeva kiibitehnoloogiad on aga muutunud sedavõrd tundlikuks, et piisab ka loomulikust taustakiirgusest tõrgete tekkimiseks. Sel põhjusel on uute, tõrkekindlate kiibiarhitektuuride loomine muutunud möödapääsmatuks. Projektis töötati välja meetodid rikete diagnostikaks ja automaatseks parandamiseks arvutisüsteemides nende töötamise ajal.

Kui seni on testimise pearõhk olnud üksnes rikete avastamisel, siis projekti DIAMOND kandvaks ideeks oli meetodite loomine vea täpse asukoha kindlaksmääramiseks ning selle automaatseks parandamiseks.

Lahendusi eelpool loetletud probleemidele vajab hädasti arvitööstus, eesotsas suur korporatsioonidega nagu IBM, Ericsson jt. Firmad hoiaksid kiipide tootmisel kokku oluliselt aega ja ressursse, kui suudetaks projekteerimisel tekkinud vigu õigeaegselt üles leida ning parandada. Vastavad meetodid töötati välja DIAMOND-i akadeemiliste partnerite poolt (TTÜ, Bremeni, Grazi ja Linköpingi ülikoolid). Meetoditest arendati välja tooted ehk projekteerimistarkvara kiipide arendusprogramme loovate firmade TransEDA Systems ja Testonica Lab OÜ poolt. Viimase näol on tegemist eduka TTÜ spin-off ettevõttega.

DIAMOND-i käegakatsutavateks tulemusteks on TTÜ osalusel välja töötatud uued tarkvarasüsteemid zamiaCAD ja FoREnSiC (Formal Repair Environment for Simple C) kiipide automaatseks parandamiseks. Esimesele neist omistati aastal 2012 IBM Faculty Award. Viimasena mainitud süsteem võimaldab vigu parandada ka C-keelsetes programmides. Seega saaksid seda tarkvara kasutada ka kohalikud programmeerimishuvilised ja tarkvarafirmad.

DIAMOND-i projekti näol üles näidatud initsiatiiv on kinnituseks, et tippkeskuses CEBE on olemas vajalik kompetents tänapäeva tipp tehnoloogia arengus aktiivselt kaasa rääkimiseks.

#### **Jaan Raik**

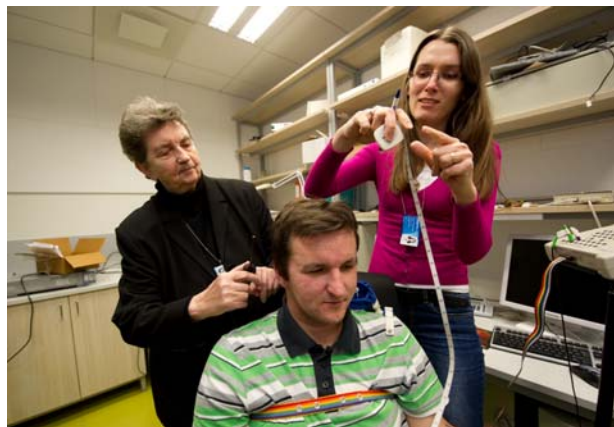
TTÜ arvutitehnika instituudi professor  
Projekti DIAMOND koordinaator

## **TEADUSTULEMUSI AJU UURINGUTE ALALT**

Aju töötleb informatsiooni, teeb otsuseid ja juhib. Sellises IT põhifunktsioone täitvas süsteemis on olulise tähtsusega sidestus erinevate elementide (neuronite) ja nende alam-süsteemide (neuraalsete populatsioonide) vahel. Uudne lähenemine ajule kui ülimalt keerulisele sidestatud elektrilisele ostillaatorite süsteemile on aidanud CEBE ajuuritingude teadlastel leida lahendus pikka aega kogu maailmas diskussiooni objektiks olevale küsimusele: kas ja kuidas väline elektromagnetkiirgus mõjutab ajutegevust.

Elektrivälja tugevus raku membraanil on suurusjärgus 1000 kV/m ja aastakümneid on oldud arvamisel, et ükski reaalselt eksisteeriv väline väli (väljatugevused sadu tuhandeid kordi väiksemad) ei saagi füsioloogilisi protsesse mõjutada. H.Hinrikus pakkus välja elektromagnetkiirguse

bioloogilise mõju mehhanismi, mis põhineb vee (vesi moodustab 80% ajast) polarisatsioonil välise välja mõjul. Vee molekulide polariseerumine tingib muutusi nii ainesise elektrivälja tugevuses kui ka difusioonis (kuna polariseerumine vahelduvväljas tingib molekulide pöörlemise). Ajusisene elektrivälja tugevus ja difusioon on kaks põhilist tegurit, mis määravad infovahetuse erinevate neuronite ja neuronite gruppide vahel. Isegi kui välise välja mõju on väike, võib sellega seotud perioodiline muutus (moduleeritud elektromagnetkiirgus) kutsuda esile võnkesüsteemi parameetrilise ergutuse. Uurimisgrupi poolt tehtud eksperimentaalsed uuringud näitasid, et nõrk elektromagnetkiirus, mis ei kutsu esile vee soojenemist, kiirendab difusiooni vees. Kahel erineval uuritavate grupil ja 5 erineval modulatsioonisagedusel  $F$  tehtud aju elektroentsefaloograafilise (EEG) signaali uuringud näitasid, et EEG signaali võimsus suureneb oluliselt EEG spektri sagedustel  $f/F = 0,25$ ;  $f/F = 0,5$ ;  $f/F = 0,75$ . Lineaarse süsteemi parameetrilise ergutuse puhul on esimesed ergutustsoonid sagedustel  $f/F = 0,5$  ja  $f/F = 1$  (viimane filtreeriti katse käigus välja, et vältida häiret). Kuna eksperiment näitas ergutust ka sagedustel  $f/F = 0,25$  ja  $f/F = 0,75$ , saab järeldada, et aju käitub kui mittelineaarselt sidestatud ostillaatorite süsteem. Moduleeritud mikrolainekiirguse mõju mehhanismi parameetrist iseloomu kinnitab ka teise eksperimendi käigus saadud tulemus, et oluline kiirguse võimsuse vähendamine ei tinginud muutuste kadumist. Kiirgusvõimsuse vähendamisel 100 korda muutused EEG signaalis küll vähenesid 3-6 korda, kuid olid endiselt statistiliselt olulised.



*Ajusignaali laboris: Hiie Hinrikus, Maie Bachmann ja Deniss Karai*

1. H.Hinrikus, M.Bachmann, J.Lass. Parametric mechanism of excitation of the electro-encephalographic rhythms by modulated microwave radiation. International Journal of Radiation Biology 2011, 87:1077-1085.

2. A.Suhhova, M.Bachmann, D.Karai, J.Lass, H.Hinrikus. Effect of microwave radiation on human EEG at two different levels of exposure. Bioelectromagnetics, 2013, 34:264-274.

#### **Hiie Hinrikus**

TTÜ emeriitprofessor

## **IMPEDANTS-SPEKTROSKOPIA RAKENDUS**

Koostöös tehnoloogia arenduskeskusega ELIKO valmis modulaarne impedants-spektroskoopia demonstraator, mis

võtub iga 1ms järel üles impedantspektri vahemikus 1kHz – 400kHz.

Aparatuur võimaldab analüüsida kiirelt muutuvaid protsesse aeg-sagedus esituses. Ergutussignaalina kasutatakse binaarimpulsside jada, mille spektris on esile tõstetud spektrijooned, mis vastavad 16-le siinussignaali komponendile.



Seade on mobiiltelefoni mõõdete ja kaaluga

Reaktsioonisignaale analüüsitakse diskreetse Fourier teisenduse abil, saades 16 sageduspunktiiga spektrogrammide järjestuse 1ms intervalliga. Üksikseadmeid saab süsteemiks

ühendada lego põhimõttel kokku lükkides. Niiviisi saab luua mõõtesüsteemi kuni 8 paralleelselt toimiva kanaliga. Süsteem töötab koos arvutiga USB sidekanali vahendusel, kasutajaliides ning abistavad kalkulasioonid on loodud LabView tarkvara kasutades.

Lahendus on esitatud patentimisele Euroopas ja USAs: „Method and device for wide band analysis of systems and substances.“ Soome firma Injeq Oy (meditsiinitehnika) ning Taani firma Carometec A/S (lihatööstuse tehnika) soovivad osta litsentse lahenduse



4 mõõtekanaliga süsteem

kasutamiseks oma toodetes. Seadet katsetatakse Chalmersi Tehnikaülikoolis Rootsis närvirakkude uurimisel, saksa firmas Reger Medizintechnik GmbH uue elektrilise kirurginoa väljatöötamise juures ning Toidu ja Fermentiseerimise Tehnoloogia Arenduskeskuses (TFTAK) Tallinnas liha ja kala kvaliteedi määramiseks tootmisprotsessis.

**Mart Min**

TTÜ Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudi professor

## PROTOTÜÜP-SENSOR NEERUASENDUSRAVI KVALITEEDI OPTILISEKS MONITOORINGUKS

Üheks TK CEBE uurimistööst välja kasvanud ja praktiliseks rakenduseks arenenud väljundiks on uudne sensor neeruasendusravi ehk dialüüsi kvaliteedi monitooringuks. Optofluid Technologies OÜ, mis on üks TTÜ teadus- ja arendustegevusest alguse saanud ettevõtte ning sõlminud TTÜga litsentsilepingu, arendab koostöös Tehnomeedikumi biomeditsiinitehnika instituudiga välja prototüüpi, mis võimaldaks uude optilise meetodiga stabiilset ja häiretevat dialüüsravi doosi hinnangut ning ravi planeerimist ravi käigus. Prototüüp mõõdab reaajas ureemiliste jääkainete elimineerimist, registreerides ka mittedesitavatest kõikumistest tingitud hälbeid, võimaldades pidevat dialüüsi adekvaatsuse näitajate määramist igal patsiendil dialüsaadi põhjal ilma

vereanalüüsides võtmiseta ning lisavahendite ja lisatööta neeruasendusravi kvaliteedi hindamiseks.

Prototüüp on kohandatud uute neeruasendusravi meetodite – modaliteetide (n hemodiafiltratsioon) võimalustele. Näiteks on uude funktsionaalsusena planeeritud võimalus monitoorida erinevatesse rühmadesse kuuluvaid ureemilisi toksine nagu näiteks madalmolekulaarseid, valkudega seotud ja keskmisi ureemilisi toksine.

Kokkuvõttes aitaks prototüüp parandada raviteenuse kuluefektiivsust ning suurendada kliinilist teadmist dialüüsravi tõhustamiseks. Meetodi rakendamine võimaldab haigla meditsiinipersonalil otsustada, kas dialüüsi efektiivsus vastab patsiendi kliinilisele seisundile ja neeruasendusravi nõuetele panustades haige elukvaliteedi parandamisesse ja personaalse raviteenuse arengusse.



- Built-in dialysis dose sensor
- HD machine
- Higher dialysis quality
- Less complications
- Lower costs (no blood samples, no extra effort by clinical staff)
- Improved life quality
- Longer life expectancy

Prototüüp-sensor ja idee kontseptsioon neeruasendusravi kvaliteedi optiliseks monitooringuks

**Ivo Fridolin**

TTÜ biomeditsiinitehnika instituudi direktor, professor

## FORMAALNE VERIFITSEERIMINE JA VIGADE PARANDAMINE DIGITAALSÜSTEEMIDES

**Anton Karputkin** (ATI, 2012)

Juhendajad: prof. R.Ubar, prof. M.Tombak, prof. J.Raik



Väitekirjas uuritakse kõrgtaseme otsustusdiagrammide (KTOD) teooriat ja selle rakendamise võimalusi digitaalsüsteemide disaini formaalse verifitseerimise ja disainivigade automaatse parandamise valdkonnas. On välja töötatud meetodid, mis võimaldavad diagramme sünteesida digitaalsüsteemide käitumis-, funktsionaalse või register-siirete taseme kirjeldustest.

Seejärel näidatakse, kuidas sünteesitud KTOD mudelit saab rakendada süsteemide formaalseks verifitseerimiseks. Seda eesmärki silmas pidades on KTOD mudelit täiendatud karakteristiklike polünoomide mõistega. Viimased võimaldavad kanooniliselt kirjeldada KTOD mudeli struktuuri ja neid saab rakendada kahe sama funktsiooni esitava aga erinevaid struktuure omava KTOD mudeli ekvivalentsuse tõestamiseks. KTOD polünoomiaalne esitus

on ühtlasi esmakordne digitaalsüsteemide matemaatiline esitus kanoonilise mudeli abil.

Verifitseerimisprobleemi keerukusega toime tulemiseks on arendatud uudne tõenäosuslik ekvivalentsuskontrollimeetod, mille põhiideeks on funktsiooni määramispiirkonna laiendamine ning polünoomide väärtuste võrdlemine juhuslikes punktides, mis on võetud määramispiirkonna laiendatud osast. On näidatud, et samade tulemuste saamise tõenäosus erinevate polünoomide puhul on väga väike.

Niipea, kui viga on tuvastatud pakutud lähenemisega, tuleb ta lokaliseerida ja parandada. Karakteristlikel polünoomidel põhinev verifitseerimismeetod on arendatud edasi automaatse disainivigade parandamise ülesande lahendamiseks. On näidatud, kuidas realistlikke disainivigu saab esitada graafi servade ümbersuunamisel põhineva veamudeli abil. Meetodil on järgmised eelised: on võimalik parandada mitu viga korraga ning parandamine ei ole sisendvektorite valikust sõltuv.

## KITSENDUSTE LAHENDAMISEL BASEERUV HIERARHILINE TESTIDE GENEREERIMINE

**Taavi Viilukas** (ATI, 2012)

Juhendaja: prof. J.Raik



Nanotehnoloogia arengud on muutnud digitaalskeeme palju keerulisemaks, mis teeb digitaalskeemide testimise üheks enim aeganõudvamaks etapiks nende disainimisel ja tootmisel. Piisab ühestki defektist mikrokiibis, mille tõttu terve digitaalseade ei pruugi töötada korrektselt. Seega on oluline, et igat digitaalseadet testitakse peale tootmist.

Väitekiri käsitleb kolme hierarhilise testigeneraatori meetodit, kus põhieesmärgiks on suurendada testigeneraatori veakatet ning vähendada genereerimiseks kulunud tööaega.

Kõigepealt esitletakse uut kitsenduste lahendamisel põhinevat hierarhilist testide genereerimise meetodit. Kõigepealt kutsutakse välja deterministlik algoritm, mis leiab kitsendused, mis on vajalikud tee aktiveerimiseks sisendist testitava moodulini RTL tasemel. Seejärel käivitub kitsenduste lahendamiseks ECLiPSe Prolog ning saadud vastuseid kasutades genereeritakse moodulile madalal tasemel test. Katsetulemused näitavad, et selline uudne meetod annab suurema veakatte eelkõige raskesti testitavatele digitaalskeemidele ning lühendab testigeneraatorimiseks kulunud aega.

Teiseks esitletakse uut meetodit, kus on ühendatud kolm erinevat rikete mudelit - hierarhiline mudel moodulitele, funktsionaalne rikete mudel multiplekserite jaoks ja kombineeritud hierarhilis-funktsionaalne rikete mudel võrdluste moodulitele. Rikete mudelid on integreeritud kõrgtaseme otsustusdiagrammidesse. Vastavalt katsetulemustele on välja pakutud uudne meetod oluliselt efektiivsem kui olemasolevad testigeneraatorimise vahendid.

Kolmandaks esitatakse kitsendustel põhinev mittetestitavate rikete tuvastamise meetod. Meetod kasutab samuti hierarhilist lähenemisviisi, kus leitakse tee testitava moodulini registersiirde tasemel ning antud teed kasutatakse rikete mittetestitavuse tõestamiseks loogikalülituste tasemel. Esitatakse meetod registersiirde disainis testitava mooduli tee aktiveerimiseks ning seejärel antud tee kitsenduste väljatoomise algoritm. Katsetulemused näitavad, et antud meetod on võimeline genereerima registersiirde tasemel maksimaalset rikete katet integreeritud moodulitele.

## LAIRIBA-ERGUTUSSIGNAALID BIOLOOGILISTE OBJEKTIDE KIIRETOIMELISE BIOIMPEDANTS-SPEKTROSKOPIA JAOKS

**Jaan Ojarand** (ELIN, 2012)

Juhendajad: prof. M.Min, dr.-ing. habil. Uwe Pliquet



Süsteemide identifitseerimiseks on tarvilik uuritava objekti või süsteemi mõjutada tuntud ergutus-signaaliga ning mõõta reaktsiooni sellele mõjutusele. Teades mõlema signaali parameetreid, saame ära määrata ka uuritava süsteemi/objekti omadused ja parameetrid. Identifitseerimise probleem läheb keerukaks, kui uuritav süsteem on ajas muutuv. Muutuda võivad nii parameetrid, kui ka objekti struktuur. Viimase näite illustreerimiseks sobib töötava südame vatsake või kiiresti muutuv rakustruktuur kiiplaborite kanalites. Sellisel juhul tuleb mõõtmised teha kiiresti selleks, et muutused ei oleks liiga suured mõõteaja jooksul (näiteks 1ms jooksul), vaatamata sellele, et kaasneb põhimõtteline määramatus. Klassikaline Fourier spektraalanalüüs eeldab ju vaatlust lõpmatult pikas ajavahemikus. Antud juhul tuleb teatud määramatusega leppida, kuid seejuures on tarvilik maksimeerida mõõtmise tulemusena saadava tõese info hulk.

Doktoritöös käsitletakse diskreetset Fourier analüüsi paljude spektraalkomponentidega üheaegselt. Uuritud on kahte juhtumit: 1) paljude siinuste summana saadud ergutus-signaali – multisiinuse – kasutamine, ning 2) ekvivalentse binaarsete impulsside jada kasutamine, mis sisaldab samu spektraalkomponente kui multisiinuse.

Välja arendatud on optimaalsünteesi meetodid mõlema signaali loomiseks parimal viisil, s.o. viisil, mis maksimeerib signaali kasulike komponentide energia antud

limiteeritud amplituudide juures. See tähendab, et signaalid on pakendatud kõige parema energeetilise tihedusega. Tulemused näitavad, et binaarse jada pakketihedus tuleb suurim. Peale selle on binaarne ergutus-signaal genereeritav digitaalse skeemitehnika abil.

Binaarse jada kasutamise peale anti sisse patenditaotlused Euroopas ja USAs. Tehti valmis ka prototüüpne impedantspektromeeter, mis on testimisel Soomes, Rootsis, Taanis ja Saksamaal erinevate biomaterjalide identifitseerimise ülesannete juures.

## SÜSTEEMIDE MODELLEERIMINE PROTSESSORIKESKSETE TESTPROGRAMMIDE SÜNTEESI AUTOMATISEERIMISEKS

**Anton Tšertov** (ATI, 2012)

Juhendajad: vanemteadur A.Jutman, prof. R.Ubar, teadur S. Devadze

Väitekirjas käsitletakse tulemusi, mis kuuluvad elektroonika trükkplaatide testimise valdkonda. Täna kasutatavad trükkplaatide testimismeetodid ei rahulda nõudmisi, milliseid seavad üles moodsad tehnoloogiad, kus üha olulisemaks on saamas süsteemide kiiruslik testimine ja süsteemisene funktsionaalne diagnoos. Vaja on uut tüüpi metodoloogilist lähenemist, kus mõlemad probleemid oleksid adresseeritud koos.

Tööstuses on selline metodoloogia arendamisel, kuid kitsaskohaks on testprogrammide koostamise suur maksumus. Käesolevas töös on leidnud nimetatud metodoloogia uudse lahenduse protsessorikesksete elektroonika trükkplaatide testimise (PETT) nime all.

Vaatamata mitmesuguste PETT lahenduste olemasolule, on siin üldiseks puuduseks komplitseeritud käsitsitöö kõrge maksumus, mis on seotud trükkplaadi komponentide keeruka funktsionaalsuse analüüsi ning arvestamisega testimisteede aktiveerimisel ja testprotseduuride koostamisel. Suurem osa trükkplaatide testide programmeerimise tööst tehakse tänapäeval käsitsi. Enamikel juhtudel ületab testide programmeerimistöö reaalne maht aktsepteeritavad kulud sedavõrd, et osutub paratamatuks teha järeleandmisi testimise kvaliteedi osas.

Käesoleva töö põhitulemuks on uus metodoloogia, mis viib PETT lahenduste kulutused sedavõrd alla, et need oleksid vastuvõetavad tööstuses.

Väitekirjas on esitatud meetod PETT programmide sünteesi automatiseerimiseks. Sünteesi formaliseerimise aluseks on uudne lahendus, kuidas üle kanda ja arvutada testandmeid mööda testimistrajektoori trükkplaadil. Seejuures modelleeritakse nimetatud testimisrada sellel asuvate komponentide ja nendevaheliste protokollide funktsionaalsete ning struktuursete mudelite abil.



Väljatöötatud automatiseerimiskeskonna kasutamine vähendab testide projekteerimise töömahtu ja testide sünteesiks kuluvat aega, tagades samal ajal kõrge kvaliteediga PETT programmide sünteesi.

## KIIPVÕRKUDEL PÕHINEVATE AJAKRIITLISTE TÖÖKINDLATE SÜSTEEMIDE KÕRG-TASEME DISAIN

**Mihkel Tagel** (ATI, 2012)

Juhendaja: prof. G.Jervan



Pooljuhtide tootmis- tehnoloogiate arengul on otsene mõju kiipsüsteemide projekteerimisele. Transistori mõõtmete vähenemine võimaldab mahutada sama suurele kiibipinnale üha rohkem funktsionaalsust. Seejuures ei ole komponentide vahelised ühendusjuhtmed vähenenud oma mõõdetel proportsionaalselt transistori mõõtmete vähenemisega, mistõttu

ühendusjuhtmed tarbivad märkimisväärselt suure osa kiibi energiatarbest (erinevatel andmetel 30-50%). Transistori mõõtmete vähenemisega kaasnev võimsustarve kasv kiibi ühikpindala kohta võib omakorda põhjustada kiibi temperatuuri kasvu. Teisalt võivad nanostruktuuridel põhinevaid kiipsüsteeme hakata häirima uut tüüpi vead ja rikked. Tegu on lühiajaliste vigadega, mis ei ole tootmisvead ning mis võivad esineda nii kiibi arvutusõlmedes kui ka kommunikatsioonis komponentide vahel. Kiipsüsteemide projekteerija ei saa eeldada, et riistvara töötab veatult, ka näiteks tarbeelektroonika puhul.

Üheks võimalikuks kiipsüsteemide tootmise ning arhitektuursete probleemide lahenduseks on kiipvõrkude ideoloogia. Kiipvõrkudes on kasutusel arvutivõrkudest tuntud pakettkommutatatsioon. Sõltuvalt kiipvõrgu topoloogiast, marsruutimisalgoritmist ning komponentide paiknemisest kiipvõrgus võib paketi saatmine toimuda läbi mitme erineva võrgusõlme (marsruuteri). Kommunikatsiooni modelleerimisel ja sünteesil on oluline roll kiipvõrkudel põhinevate kiipsüsteemide disainis. Ilma detailse arusaamata kiipidevahelisest kommunikatsioonist on raske hinnata süsteemide ajalist käitumist ning garanteerida nende vastavust nõuetele.

Töös on välja pakutud kommunikatsiooni modelleerimise ja sünteesi meetod, mis võimaldab leida kiipvõrgus andmeülekandeks kuluva aja, võttes seejuures arvesse võimalikke võrgukonflikte. Antud meetodi puhul modelleeritakse iga võrguressurssi (näiteks marsruuter, kommunikatsioonikanal) kui jagatud täitursõlme (protsessor). Seega, andmete liikumine kiipvõrgus on kui ülesannete täitmine protsessoris, milleks tuleb vajaminev ressurss ette planeerida. Eksperimentide tulemused näitavad, et kaitades leitud planeeringuid kiipsüsteemi simulaatoril on tulemuste erinevus

maksimaalselt üks takt ning andmekadu seoses võimalike võrgukonfliktidega puudub. Seejuures võtab ülesannete planeeringu simuleerimine võrreldes modelleerimisega keskmiselt 28 korda rohkem aega. Seega, meie poolt pakutud kommunikatsiooni modelleerimise meetod on efektiivne erinevate lahendusvariantide läbi proovimiseks ning vajadusel on tulemused kontrollitavad simuleerimise teel.

## NÕRKADE STRESSORITE MÕJU AVASTAMINE INIMISE PUHKEOLEKU ELEKTROENTSEFALOGRAAFILISES SIGNAALIS

**Anna Suhhova** (TM, 2012)

Juhendajad: emeriitprofessor H.Hinrikus, vanemteadur M. Bachmann

EEG ehk elektroentsefalograafia on aju bio-elektrilise intensiivsuse mõõtmine, mis annab informatsiooni ajukoore seisundist ja talitlusest. EEG signaale mõõdetakse peanahale paigutatavate elektrodidega ning mõõtmine on passiivne – elektrodid mõõdavad aju poolt spontaanselt tekitatavat elektrivälja vähimalgi määral mõjutamata. Isegi väikesed muutused ajutegevuses kajastuvad EEG signaalis. Seosed EEG ja erinevate neurofüsioloogiliste seisundite (ärkvelolek, kooma, epilepsiahood jne) vahel on üsna selgelt määratletud ja küllaltki põhjalikult uuritud. Järelikult, uurides EEG signaali ja selle parameetreid, on võimalik leida seoseid ka ajutegevuse ja erinevate stressorite vahel.

Antud doktoritöö eesmärk oli hinnata erinevate EEG analüüsi meetodite sobilikkust avastamiseks väikseid muutusi EEG signaalis, mis on põhjustatud välise stressori ehk mikrolainekiirguse või meeleoluhäire ehk depressiooni poolt.

Töö teoreetilises osas esitatakse ülevaade madala sageduse pulssmoduleeritud mikrolainekiirguse mõjust inimajule ja uurimustest, mille põhisuundadeks on depressioonist tingitud muutuste uurimine EEG signaalis.

Doktoritöö eksperimentaalosas antakse põhjalik ülevaade teostatud uurimustest, esitletakse nelja lineaarset signaali analüüsi meetodit ja hinnatakse nende võimekust väikeste muutuste avastamisel EEG signaalis.

Töö põhijärelduseks võib lugeda avastust, mis näitab, et mikrolainekiirguse mõju inimajule sõltub rakendatud kiirguse tasemest. Eksperimentaalsete tulemuste põhjal võib järeldada, et mikrolainekiirguse taseme vähendamine 10 korda vähendab muutusi EEG signaalis 3-6 korda. Katsetulemused näitavad, et SASI (lühend ingl. *Spectral Asymmetry Index*) meetodit kasutades saab hinnata muutusi EEG signaalis, mis olid esile kutsunud nii mikrolainekiirgus kui ka depressiooni poolt.



## DIGITAALSÜSTEEMIDE ISETESTIMINE

**Sergei Kostin** (ATI, 2012)

Juhendaja: prof. R.Ubar

Väitekiri on pühendatud digitaalsüsteemide diagnoosi probleemide uurimisele. Eesmärgiks on kiirus ja täpsuse parandamine defektide diagnoosil isetestivates süsteemides. Transistorite dimensiooni pidev kahanemine ning kiipide valmistamistehnoloogiate üha keerukamaks muutumine on kaasa toonud füüsikaliste defektide põhjuste ja iseloomu mitmekesisuse kasvu, mis omakorda teeb üha raskemaks adekvaatselt defekte modelleerida. Nimetatud raskusest ülesaamiseks on käesolevas töös rakendatud uut paradigmat – täpset rikkemudelit mitte vajava rikete diagnostika kontseptsiooni.



Väitekirja põhitulemusteks on: uued meetodid rikete diagnoosi optimeerimiseks isetestivates süsteemides ja hierarhiline rikete käsitus, mis ei vaja rikete mudelite kasutamist rikete diagnoosil.

Töötati välja uudne diagnoosiprotsessi optimeerimise meetod, mis põhineb rikete „kaalude“ mõiste kasutamisel. Uus põhimõte võimaldab efektiivsemalt juhtida diagnostikaprotsesse, saavutamaks parimat diagnoosi täpsust etteantud ajaliste piirangute juures.

Diagnoosi resolutsiooni tõstmiseks on välja töötatud originaalne mitme signatuuranalüsaatori kasutamisel põhinev aparatuurne meetod ja algoritmiline lahendus. Uus meetod toob sisse täiendava dimensiooni diagnostikaprotseduuride optimeerimiseks, kus kriteeriumiteks on diagnoosiks kuluv aeg ja diagnoosi täpsus.

Uus hierarhiline diagnoosikontseptsioon ühendab kahte teineteisele vasturääkivat trendi: kõrgtasemel jāmmodelleerimist ja defektidele peenorienteeritust. See põhineb kahe klassikalise strateegia – põhjus-tagajärg ja tagajärg-põhjus integreerimisel, mis võimaldab ületada keerukusest tingitud raskusi ja realiseerida veamudeli-vaba diagnoosi põhimõtet.

Töö käigus loodud prototüüplahenduste baasil on rajatud e-õppe keskkond digitaaldisaini kursuste toetamiseks ja eksperimenteerimisvõimaluste andmiseks tudengitele keerukate süsteemide rikete diagnoosimisel ja kõrvaldamisel.

## REKURSIIVSETE SORTIMISALGORITMIDE RIISTVARALINE REALISEERIMINE HFSM MUDELITE ABIL

**Dmitri Mihhailov** (ATI, 2012)

Juhendaja: dots. A.Sudnitsõn

Väitekirjas uuritakse võimalusi olemasolevate ja uute sorteerimismeetodite parandamiseks ning väljatöötamiseks, mis oleksid eriti sobivad realiseerimiseks programmeeritavatel loogikamaatriksitel (FPGA). Töö eesmärgiks oli orienteeruda eeskätt odavatele FPGA-dele kõrgjõudlusega

sortimisseadmete projekterimisel suvalise mahu- ja andmete jaoks.

Töö peamised tulemused on: (1) hierarhilise lõpliku automaadi (HFSM) ilmutamata moodulitega mudeli uurimine, mis on kiirem ja nõuab vähem ressursse kui ilmutatud moodulitega HFSM, (2) uute meetodite väljatöötamine, mis lubavad efektiivselt töödelda puulaadseid struktuure riistvaras, (3) mitmetasemelise andmetöötluse kasutamine, (4) esitatud meetodite prototüüpimine, eksperimendid ja võrdlused.

Uute meetodite riistvaraline realiseerimine põhineb HFSM mudelil, mis toetab modulaarsust, hierarhiat ja rekursiivsust. Spetsifikatsioon on selgem ja lubab taaskasutatavust. Töös esitati uus ilmutamata moodulitega HFSM mudel, mis pärib kõik esialgse mudeli omadused ja võimaldab kasutada kõiki tavaliste lõplike automaatide jaoks loodud optimeerimis-meetodeid.

Uued algoritmid põhinevad puulaadsetel struktuuridel, mis võimaldavad kiiresti adapteeruda sisendandmete muutumisele. Puu tippudega manipuleerimine on kiire ning andmete sorteerimist saab teostada lineaarse aja jooksul. Kiire ülesorteerimise omadus on tähtis näiteks prioriteedipuhvrite või sarnaste seadmete projekterimisel, mis on asendamatud paljudes praktilistes rakendustes.

Töötati välja mitmetasemeline andmetöötlusmudel, mille eeliseid demonstreerides näidati, et mitme sorteerimis-algoritmi ühendamine viib jõudluse tõstmisele.

Experimendid näitasid, et uusi sorteerimis-meetodeid on võimalik efektiivselt kasutada ka odavates FPGA-des. Töö tulemused ei piirdu ainult rekursiivse sorteerimisega, vaid neid saab rakendada ka muudes riistvaralistes algoritmides, mis baseeruvad puulaadsetel struktuuridel.

## FPGA-SISESED VIRTUAALSED TEST- JA MÕÕTEVAHENDID

**Igor Aleksejev** (ATI, 2013)

Juhendajad: vanemteadur  
A.Jutman, teadur  
S.Devadze

20. sajandi keskel toimus traditsiooniliste test- ja mõõtevahendite (instrumentide) kiire areng. Eraldi seisvad ostsiloskoobid, signaaligeneraatorid, loogikaanalüsaatorid, multimeetrid on laialt tuntud traditsioonilised instrumentid, mida kasutatakse süsteemide testimiseks. Arvutite areenile tulles hakkasid



insenerid kasutama tarkvaravahendeid instrumentide juhtimiseks, andmete kogumiseks ning töötlemiseks. Arvutitarkvara kasutamist instrumendi funktsionaalsuse teostamiseks nimetatakse virtuaalvahendite metoodikaks.

Viimase kümnendi jooksul on testitavad süsteemid täielikult muutunud. Kuna transistori suurus on vähenenud, võib kiibile mahutada palju rohkem funktsionaalsust kui varem. Trükkplaadid on täna nii tihedalt asustatud, et seal ei ole enam vabu kohti testpunktide lisamiseks. Suur osa ühendustest on paigutatud sisekihtidesse, seega pinnalt nendele juurdepääsu enam ei ole. Need muutused on sundinud viima testinstrumente kiibi sisse või plaadile. Neid instrumente nimetatakse sardinstrumentideks ja nende põhieesmärgiks on tagada vahetu juurdepääs signaalide jälgimiseks.

Väitekiri on pühendatud sardvirtuaalvahendite (SVV) metoodika analüüsile, rakendusvõimaluste uurimisele ning SVV abil testimise kiiruse ning kvaliteedi tõstmisele. millel on suur potentsiaal uut tüüpi tehnoloogiate, näiteks 3D kiipide testimist silmas pidades. Instrumentide platvormina on kasutusele võetud tänapäeval laialt levinud FPGA programmeeritavad skeemid.

Meie poolt pakutud SVV instrumentid võimaldavad ületada mitmeid tehnoloogilisi piiranguid. Nad on disainitud viisil, mis võimaldab instrumendi hõlpsat kohandamist konkreetse toote testimisele. Uue meetodi põhieelis seisneb selles, et eelkompileeritud instrument sobib iga süsteemi testimiseks (teda pole vaja uuesti kompilleerida teise süsteemi testimiseks ega ka juhul, kui süsteemi on sisse viidud muutusi).

Töötati välja täielik SVV raamistik, mis ühendab nii FPGA instrumente kui ka vastava juhtimistarkvara moodulit. Antud teadustöö oli algusest peale suunatud tööstusele ning on tänaseks edukalt integreeritud tööstusliku testsüsteemi sisse. Katsete tulemused ja saadud positiivne hinnang tööstuselt tõestasid uut tüüpi SVV instrumentide efektiivsust võrreldes teiste kaasaegsete testimistehnoloogiatega. Arendatud instrumente on võimalik kasutada sellistes olukordades, kus traditsioonilised tehnoloogiad ei toimi või on nende kasutamine väga aeganõudev

## TEISI HILJUTISI CEBE TULEMUSI

**Forensic tarkvarakeskkond** C-programmide silumiseks ja disainivigade automaatseks parandamiseks (koostöös Grazi ja Bremeni Ülikoolidega). Keskkond on kasutatav ja rahvusvaheliselt arendatav vabavara litsentsi alusel. Uus meetod ja tarkvara põhinevad statistilisel vigade lokaliseerimisel ning mutatsioonil põhineval programmide parandamisel. Firma Siemens poolt välja pakutud rahvusvaheliselt tunnustatud näiteskeemidel suutis uus meetod parandada kolm korda rohkem vigu kui varasemad teadaolevad meetodid (J.Raik & Co).

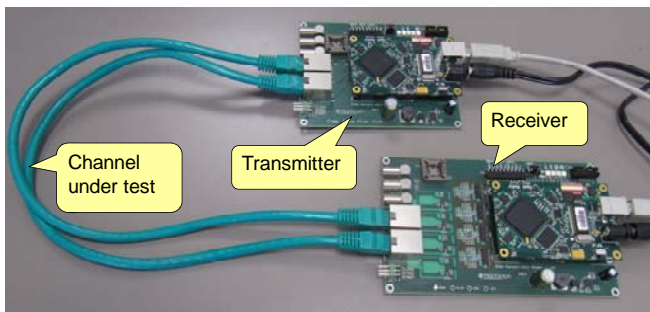
**ZamiaCAD** tarkvarakeskkond ülisuurte digitaalsüsteemide staatiliseks analüüsiks, simuleerimiseks ja disainivigade automaatseks diagnoosiks. Keskkond on avatud lähtekoodiga projekt, mis on suunatud reaalsele tööstuslikele skeemidele ja skaleeruvuse poolest ületab levinud komertskeskondade parameetreid.

Projekti toetab IBM, eraldades CEBE teadurile M.Jenihhinile „IBM Faculty Award“ preemia. (M.Jenihhin & C0)

**Diagnostika üldjuhu lahendus.** Digitaalskeemide diagnostika keerukuse tõttu lahendatakse seni diagnostika ülesandeid ligikaudselt ehk üheainsa rikke eeldusel. Esmakordselt töötasime välja rikete diagnoosi meetodi üldjuhul ilma kitsendava ühe rikke eelduseta. Meetod võimaldab välistada mitme rikke vastastikkust maskeerimist ja tõsta seeläbi diagnoosi täpsust ning adekvaatsust. Meetodi põhiidee seisneb traditsioonilise rikete-põhise diagnostikaprobleemi taandamisel skeemi järkjärgulise korrektsuse tõestamise protsessile, mis võimaldab vabaneda rikete mudelite kasutamisest ja seeläbi saavutada diagnostikaprobleemide üldisem (rikete mudelitest sõltumatu) tase.

Uus meetod pälvis konverentsi DDECS'2012 parima artikli auhinna (R.Ubar & Co).

**Tellimus CERN-ilt.** BERT (Bit Error Rate Test) algoritmi- del põhinev testimisaparatuur LHC ülikiirete sideliinide testimiseks (koostöös eesti firmaga Testonica Lab). Põhitulemuseks on uued algoritmid ja testimisaparatuur, mis läheb käesoleva aasta suvel kasutusele CERNis (Šveits) sideliinide sertifitseerimiseks kui ka konkreetse sideliini vi- gade määra tuvastamiseks (A.Jutman & Co).



*BERT equipment in test setup*

**Ekspimentaaluuringud pooljuhttehnoloogas.** Uuringute objektiks olid laia keelutsooniga materjalidel põhinevate pooljuhtseadiste elektrilised karakteristikud. Avastasime uue nähtuse SiC-seadistes seostades pinnapotentsiaali pindmiste dislokatsioonide kontsentratsiooniga. Kasutades numbrilisi eksperimente koos sügavate nivoode DLTS spektroskoopiaga näitasime, et tehnoloogiast tingitud lõksude klastris laengukandjate lõksude ristlõike pindala on otseselt mõjutatud positiivselt laetud doonorlõksude arvu mõjust aukvoolule läbi potsentsiaalibarjääri. Laia keelutsooniga materjalidel põhinevate diodide kasutamine uut tüüpi pingemuundurites võimaldas saavutada viimaste kasuteguri kasvu. Tõestasime, et selliste diodide kasutamine vähendab oluliselt ka isesoojenemisest tingitud muundurite riknemise ohtu (T.Rang & Co).

**Uuringute kompleks ja uudne meetodika** veresoonte venitavuse määramiseks varajase ateroskleroosi diagnoosimisel. Füsioloogiliste signaalide registreerimiseks töötati välja fotopletüsmograafilised moodulid. On teostatud pulsilaine kiiruse ja kuju uuringud südame isheemiatõve patsientidel ja võrreldud saadud tulemusi tervete vabatahtlike inimeste vastavate näitajatega.

Uus meetodika on võimaldanud leida statistiliselt olulisi erinevusi südame isheemiatõve haigete aordi ja alajäsemete

arterite pulsilaine leviku kiiruse ning augmentatsiooni indeksi väärtustes (K.Meigas & Co).

**Signaalitöötlusplatvorm.** Platvormi eesmärgiks on bioimpedantsi mõõtmise ja EEG analüüsi jaoks vajalike reaala- ajas töötavate kõrge jõudlusega andmeanalüüsi rakendus- spetsiifiliste protsessorite loomine, koos võimalusega hinna- ta erinevate arhitektuursete lahenduste sobivust, arvestades seejuures ka piiranguid nagu jõudlus, täpsus, energiatarve, mobiilsus jne. Töötati välja platvormi kontseptsioon, kus platvormi tuumaks on teek virtuaalsetest parametri- seeritavatest komponentidest, millest koostatakse rakenduse /algoritmi riistvaraline realisatsioon. Parametriseeritavus lubab uurida erinevate realisatsioonivariantide efektiivsust ja valida sobivaim sõltuvalt ülesande lähtetingimustest.

Platvormi eesmärgiks on kiirendada signaalitöötlus- algoritmid realiseerimist nii prototüüpimiseks kui ka lõpptoodangu projekteerimisel (P.Ellervee & Co)

**Kiipsüsteemide modelleerimine.** On loodud kiipvõrkudel põhinevate kiipsüsteemide kommunikatsiooni modelleerimise ja sünteesi meetod, mis võimaldab leida kiipvõrgus andmeülekandeks kuluva aja, võttes seejuures arvesse võimalikke võrgukonflikte. Antud meetodi puhul modelleeritakse iga võrguressursi (näiteks marsruuter, kommuni- katsioonikanal) kui jagatud täitursõlme (protsessor). Seega, andmete liikumine kiipvõrgus on kui ülesannete täitmine protsessoril, milleks tuleb vajaminev ressurss ette planeerida. Eksperimentide tulemused näitavad, et kaitades leitud planeeringuid kiipsüsteemi simulaatoril on tulemuste erinevus maksimaalselt üks takt ning andmekadu seoses võimalike võrgukonfliktidega puudub. Ülesannete planeeringu simuleerimine võrreldes modelleerimisega võtab keskmiselt 28 korda rohkem aega. Seega, meie poolt pakutud kommuni- katsiooni modelleerimise meetod on efektiivne erinevate lahendusvariantide läbi proovimiseks ning vajadusel on tulemused kontrollitavad simuleerimise teel. Meetodit on laiendatud ka süsteemide veakindluse tõstmiseks ning järgmise sammuna on plaanis erineva kriitilisusega ülesannete planeeringute optimeerimine (G.Jervan & Co).



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti tuleviku heaks

**CEBE**

Centre for Integrated Electronic Systems  
and Biomedical Engineering



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**OLE MEIEGA KONTAKTIS!**

**CEBE veeb:** [cebe.ttu.ee](http://cebe.ttu.ee)

**Tippkeskuse juht:** Prof. Raimund Ubar  
Arvutitehnika instituut, Tallinna Tehnikaülikool  
Raja 15, 12618 Tallinn

**E-mail:** [raiub@pld.ttu.ee](mailto:raiub@pld.ttu.ee)

**Telefon:** +372 620 2252