
ZÁRÓJELENTÉS

OTKA nyilvántartási szám: K69018

Témavezető: Gingl Zoltán

A téma címe: Fluktuációk és zajok alap- és interdiszciplináris kutatása fizikai, neurocardiológiai és nanotechnológiai szakterületeken

A kutatás időtartama: 2007-2011

A különböző rendszerekben előforduló véletlenszerű fluktuációk, zajok szisztematikus vizsgálata elméleti, informatikai és elektronikai módszerekkel a nyolcvanas évek közepe óta folyik a Szegedi Tudományegyetemen működő csoportunk [www.inf.u-szeged.hu/noise] fő kutatási tevékenységeként. A kutatások egyik legfontosabb célja az, hogy a gyakran károsnak, az információszerzés korlátjának tartott véletlenszerű ingadozásokat minél pontosabban megismerjük, kezelhessük és akár hasznunkra is fordíthassuk. Mivel a jelek feldolgozása, matematikai leírása gyakran igen bonyolult, igazi áttörést az informatika, a digitális technika és a digitális jelfeldolgozási módszerek ugrásszerű fejlődése jelentett. A véletlenszerű zajok sokszor a vizsgált rendszer működéséből származnak, így megfelelő analízis segítségével információforrásként használhatók fel. Példaként hozható fel erre a félvezetők degradációs folyamatának beavatkozásmentes, akár működés közben elvégzett nyomonkövetése vagy a szívritmusingadozások mérése is, melyekből a véletlenszerű jelek analízisének megszokott módszerek segítségével szívbetegségekre való hajlam, de más idegrendszeri betegségek diagnosztizálása is lehetővé válik. A legújabb sikerek közé tartozik, hogy nanotechnológiai alapú gázszenzorok zajának mérésével és számítógépes elemzésével növelhető a szenzor érzékenysége, szelektivitása is. A kutatások eredményeképpen ma már az is lehetséges, hogy bizonyos esetekben paradox módon véletlenszerű zaj hozzáadásával javíthatjuk a mérés pontosságát, növelhetjük a jel/zaj viszonyt, zajt használjunk fel abszolút biztonságos adatkommunikációhoz, akár zaj segítségével reprezentálhassunk logikai értékeket és műveleteket.

A fentieknek megfelelő tartalmú kutatási tevékenységet folytattunk az OTKA K69018 számú pályázat támogatásával is, mely a negyedik OTKA pályázat, amelyben témavezetőként vehetek részt.

A PÁLYÁZAT LEFOLYÁSA, SZEMÉLYI, TARTALMI VÁLTOZÁSAI

A kutatási munka a pályázatban megfogalmazott terveknek nagyrészt megfelelő módon zajlott, ugyanakkor néhány eltérés is látható. A kutatás interdiszciplináris jellegéből, sokszínűségéből adódóan a pályázat benyújtásakor tervezett témák mellett újabbak jelentek meg, néhány eredetileg vizsgálni kívánt területet viszont kisebb jelentőségűvé vált. Mivel a feladataink teljesítésében rendszeresen több hazai és nemzetközi kutatóval és kutatócsoporttal is közös munkát végeztünk, a hatékony együttműködés érdekében előfordult a témák változtatásának, bővítésének a szükségessége, a feladatok ugyanakkor továbbra is szorosan a vállalásban megadott zajkutatáshoz és a kapcsolódó mérési, jelfeldolgozási területekhez kötődnek.

Sajnos a pályázat futamidejének felénél tragikus személyi változás is történt, senior kutatótársunk, Heszler Péter 2009 nyarán elhunyt, az általa képviselt kutatásokat így nem tudtuk változatlan formában folytatni. Csoportunk komoly megerősödését jelentette viszont, hogy az irányításom alatt dolgozó másik két résztvevő, Makra Péter és Mingesz Róbert a pályázat benyújtása óta (2007-ben illetve 2009-ben) doktori (PhD) fokozatot szerzett, és a kiterjedtebb kutatásoknak megfelelően egyre több hallgató került a csoportunkhoz, jelenleg öt PhD hallgató témavezetésében veszek részt.

Nagy örömmel számolok be arról, hogy az interdiszciplináris kutatásaink során szerzett informatikai és műszaki szaktudásunk alapján felkérést kaptunk egy új tanszék megalakítására, mely 2011 februárja óta működik a vezetésemmel [Műszaki Informatika Tanszék](#) néven a Szegedi Tudományegyetemen. A tanszék tagja Mingesz Róbert kutatótársam és Mellár János is, aki még hallgatóként csatlakozott a csoportunkhoz pályázati feladataink segítésére, így egyértelműen látható, hogy a pályázat jelentősen hozzájárult a sikerhez.

AZ KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A pályázat 4 éves futamideje alatt a vállalnál jóval több, összesen 35 publikációt készítettünk el, melyek összesített impakt faktora 37,431. Ezek mellett folyamatban van még néhány eredményünk publikálása is. Szeretném megemlíteni, hogy az előző lezárt OTKA pályázatunk (T37664) „jól megfelelt” értékelésében kritikát kaptunk a kisebb számú impakt faktoros folyóiratcikkek miatt, túlsúlyban voltak a konferenciatickek és az impakt faktor nélküli folyóiratcikkek. Ezt az arányt igen jelentősen sikerült megjavítanunk: az előző pályázathoz kapcsolódó 4 impakt faktoros cikkel szemben most 20 impakt faktoros cikket írtunk.

A következő táblázat éves lebontásban mutatja publikációs tevékenységünket. A publikációk 5 nemzetközi és 1 hazai meghívott előadáshoz köthetők, melyeket a publikációs listában feltüntettünk „invited talk” illetve „meghívott előadás” megjelöléssel. Az alábbi táblázatban ezek közül csak az a 3 szerepel külön sorban megadva, melyek bemutatónként vagy kivonatként érhetők el, a többi konferenciatickk formájában jelent meg.

típus	2008	2009	2010	2011	összesen
nemzetközi folyóiratcikk	7	1	7	6	21 IF=37,431
nemzetközi konferenciatick	1	2	1	2	6
hazai folyóiratcikk		1			1
kivonat nemzetközi folyóiratban		1		2	3
arxiv preprint			1		1
nemzetközi meghívott konferenciaelőadás			1	1	1
hazai meghívott konferenciaelőadás		1			1
összesen	8	6	10	11	35

A Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott Kémiai Tanszékével együttműködést építettünk ki szén nanocső és más nanotechnológiai anyagok gázszenzorként való alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatára. Legfontosabb feladatunk egy számítógépvezérelt mérőrendszer elektronikájának megtervezése és elkészítése, valamint kiértékelő, jelfeldolgozó szoftverek kifejlesztése volt. Az elkészült rendszer alkalmas a szenzorokon fellépő ellenállásfluktuációk mérésére és analizisére, aminek segítségével demonstráltuk, hogy szén nanocső alapú szenzorokon végzett

zajspektroszkópiai mérések alkalmasak lehetnek különböző gáztípusok megkülönböztetésére anélkül, hogy több különböző típusú gázszenzort kellene alkalmazni. Az szakirodalomban a módszer fluctuation enhanced sensing néven ismeretes. Numerikus szimulációkkal és az így kapott adatok mérési eredményekkel való összevetésével megvizsgáltuk, hogyan választhatók biztonságosan szét a tipikusan jelenlevő ellenállásdrift és ellenállászaj komponensek, és ellenőriztük a PCA (principal component analysis) módszer alkalmazhatóságát is. Az együttműködés egyik legfontosabb célja egy kompakt érzékelő elektronika kifejlesztése volt, melynek prototípusát sikerült elkészítenünk a korábban kifejlesztett mérőrendszer elemeinek integrálása és a szoftverek optimalizálása alapján. Az USB portról működő kompakt, optimalizált műszert és a nagymértékben integrált, grafikus felületű menüvezérelt elemző szoftvert teszteltük különböző típusú gázok detektálásával. A kutatások jelenlegi szakaszában a fő célunk az, hogy a detektálási algoritmust kisméretű, vezeték nélküli kommunikációval ellátott beágyazott processzorra ültessük át. A hardver tervezését és próbateszteket már elvégeztük, az eredmények publikálását 2011 őszére tervezzük.

A Texas A&M egyetemen dolgozó Kish László professzorral való együttműködés keretein belül is foglalkozunk különböző típusú gázszenzorok zajspektroszkópiájával. Két elméleti modell kifejlesztésében vettünk részt, amelyek segítségével hatékonyabbá tehető az információszerzés. Az egyik modell egy kétszenzoros elrendezésben lehetőséget ad a diffúziós és abszorpciós-deszorpciós folyamatok által keltett fluktuációk szétválasztására, és ezzel hatékonyabb információszerzést tesz lehetővé. A másik egy speciális jelfeldolgozási módszer, mely a különböző alsó határfrekvenciával rendelkező jelszakaszok szintmetszési statisztikáinak elemzésével az FFT-alapú spektrális módszerek alternatívája lehet. Az eredmények jelentőségét leginkább azzal emelném ki, hogy a számításokhoz több nagyságrenddel kevesebb műveletre van szükség, és a műveletek is jóval egyszerűbbek. Az együttműködés keretében részt vettünk a gázszenzorok zajspektroszkópiájának baktériumok detektálására való kiterjesztésébe is. Kish professzorral más tudományos témákon is közösen dolgozunk, melyek közé tartozik a passzív ellenállások termikus zajának felhasználásával létrehozható biztonságos kommunikációs módszerek tanulmányozása. Ebben a témában numerikus szimulációkat végeztünk el, melyek a valóságos rendszerekben található sajátosságok és korlátozások figyelembevételével adnak plusz információt az elméleti modell kiegészítéséhez. A 2008-ban publikált kísérleti eredményeink (Physics Letters A, 372 (2008) 978-984) továbbfejlesztése érdekében elkezdtük a biztonságos kommunikációt lehetővé tevő kisméretű USB portra köthető eszköz kifejlesztését is, melynek első tesztjei 2011 őszén várhatók. Egy újabb együttműködési területünk az úgynevezett "noise-based logic" rendszerek vizsgálata, ahol a logikai jelek és digitális reprezentáció alapját egymástól független zajforrások adják, és a megszokotthoz hasonló logikai műveletek valósíthatók meg. Ezen a területen is numerikus szimulációkat végeztünk, melyek fő célja impulzusszerű ortogonális zajok optimális generálási módszereink kifejlesztése volt elsősorban egy chip kifejlesztési lehetőségeit tartva szem előtt. Emellett a módszer ígéretesnek látszik az agyműködés bizonyos folyamatainak modellezéséhez is. Az együttműködésben elért eredményeket több publikációban is megjelentettük, ezek közé tartozik Kish professzor meghívott előadása is a Fourth International Workshop on Natural Computing (<http://www.iwnc2009.org/>) konferencián "Noise-based logic and computing: from Boolean logic gates to brain circuitry and its possible hardware realization" címmel.

Az excimer impulzuslézerek késleltetésének sztochasztikus jelek felhasználása segítségével alapuló aktív szabályozásához kifejlesztett módszerünket további modellezésekkel és elemzésekkel egészítettük ki. A lézer triggerelése és kimeneti impulzusa között eltelt idő lassú, driftszerű és gyors véletlenszerű jitter komponenssel rendelkezik, melyek rontják a pulzus időzítésének pontosságát. Megmutattuk, hogy bizonyos mennyiségű jitterzaj mellett a késleltetés szinkronizálása

optimalizálható, a zaj felhasználható a driftszerű komponens csökkentésére. A szabályozást végző algoritmust elkészítettük egy mikrovezérlőt tartalmazó valós rendszerhez is, mely több lézerben is működik. Eredményeinket folyóiratcikkben publikáltuk. 2011-ben egy új hardvert is kifejlesztettünk, mely hatékonyabb működést tesz lehetővé, additív zaj felhasználásával segíti a késleltetési idő detektálását. Ezeket az eredményeket 2011 nyarán meghívott előadásban mutattuk be a Fluctuations and coherence nemzetközi konferencián. Az előadásokból a Fluctuation and Noise Letters folyóirat különszámot fog megjelentetni, melybe a mi anyagunkat is beválogatták. A folyóiratcikket szeptember 15-i határidővel fogjuk közlésre beküldeni az OTKA támogatásának feltüntetésével.

Orvoskutató partnereinkkel 15 éve tartó sikeres együttműködésünk folytatásaként időtartománybeli és spektrális paraméterek analízisével, szoftverfejlesztéssel járultunk hozzá annak vizsgálatához, hogyan befolyásolja az alkalmazott altatószer a szívritmuszavarok kockázatát nyulaknál. Az eredményeket nemzetközi folyóiratban publikáltuk. A SZTE ÁOK II. Belgyógyászati Klinika és Kardiológiai Központjával együttműködve az RR- és QT-szakaszok időtartománybeli paramétereinek (effektív érték, szórás, rövid és hosszú távú változékonyság, instabilitás, PNN8) számításával járultunk hozzá ahhoz a kutatáshoz, amely izolált nyúlszívekben vizsgálta a Na^+/Ca^{2+} -exchanger fehérje hatását a torsades de pointes típusú szívritmuszavar (TdP) lefolyására. A vizsgálat azt találta, hogy a Na^+/Ca^{2+} -exchanger a ritmuszavarnak sem a kiváltásához, sem a fönntartásához nem járul hozzá, továbbá sem a szívritmussal korrigált QT-szakasz (QTc) megnyúlása, sem a QT-szakasz ütésről ütésre vett változékonyságának növekedése nem elégséges föltétel a TdP ritmuszavar megjelenéséhez.

Az együttműködés egy másik ágához tartozik a pitvarfibrillációban fellépő EKG jelek idő- és frekvenciatartományi analízise. Az analízishez egy olyan szoftvert fejlesztettünk ki, mely alkalmas a meglevő műszerek adatainak kezelésére, a determinisztikus és véletlenszerű komponensek spektrális tartománybeli elemzésére. Az eredményeket és a módszert a *Cardiologia Hungarica* folyóiratban publikáltuk, emellett előkészületben van a nemzetközi publikálás is.

A SZTE ÁOK Élettani Intézetével együttműködve az emberi vérkeringés Doppler-technikával való vizsgálatához a keringési sebesség jelének wavelet-transzformáltját kiszámító és földolgozó szoftvert készítettünk. Az időfüggő spektrális analízis célja, hogy izoláljuk azon spektrális tartományokat, amelyekben a külső ingerekre (pl. adott testtáj melegítése) való válasz a legmarkánsabban megjelenik, és ezen keresztül olyan paramétereket találjunk, amelyek a keringést érintő elváltozások jó indikátorai lehetnek. Jelenleg az adatsorok előzetes időfüggő spektrális elemzése folyik; megoldandó feladat még a vizsgálati csoportok közötti különbségtételre alkalmas, statisztikailag földolgozható paraméter megtalálása.

Interdiszciplináris kutatásaink sorába illeszkedik a Szegedi Tudományegyetem Megismeréstudományi csoportjával indított együttműködésünk is. dr. Németh Dezső vezetésével az implicit szekvenciatanulás kutatásába kapcsolódtunk be. Azt vizsgáltuk, hogy az emberi agy hogyan képes a véletlenszerű jelekben elrejtett determinisztikus minták felismerésére és tanulására a nélkül, hogy a mintát tudatosan felismerné. Ezen kutatások fontos információkat árulhatnak el a nem tudatos, motoros tanulásról, valamint bizonyos betegségek (pl. autizmus) pontos diagnosztikájában és megértésében is sokat segíthetnek. A kutatócsoportunk egy olyan szoftvert fejlesztett ki, mellyel a nagyszámú adat elemzése sokkal gyorsabb és egyszerűbb lett, feleslegessé téve két költséges kereskedelmi program használatát is. A munka eredményeit publikáltuk a *PLOS ONE* folyóiratban, a közös munkát tovább folytatjuk.

Alacsony zajú műszerek tervezésében szerzett gyakorlatunk alapján új kutatási együttműködést indítottunk az egyetemünk Orvosi Fizikai és Biofizikai Tanszéken dolgozó Maróti Péter professzorral baktériumok fotoszintézisének vizsgálatához kapcsolódóan. A mérések elvégzésének támogatására feladatunk volt egy olyan hatékony számítógépvezérelt mérés technika és műszer kifejlesztése, mely lehetővé teszi a mérési zajok igen alacsony szinten tartását, nagy jel/zaj viszony elérését. Eredményeinket a Photosynthesis Research folyóiratban közöltük, jelenleg a módszert abszorpcióképesség-mérésekhez fejlesztjük tovább.

A pályázat futamidejének utolsó részében jelentősen megnőtt módszertani kutatásaink intenzitása, mely a kutatási terveinkhez képest új területként jelent meg. A zajos jelek kísérleti és elméleti vizsgálatában, a szenzorok alkalmazásához kötődő elektronikai fejlesztésekben és digitális jelfeldolgozásában szerzett tapasztalataink alapján a fő célunk olyan modern kísérleti módszerek és eszközök kifejlesztése, melyek hatékonyan képesek segíteni a kísérletes képzést a közép- és felsőoktatásban a fizika, biológia, kémia, informatika szakterületeken is. Kifejlesztettünk egy kompakt szenzor-USB interfészt, mely sokféle szenzor közvetlen fogadására alkalmas, igen gazdaságos mégis igényes méréseket tesz lehetővé. A teljes hardver- és szoftverfejlesztést nyíltforrásúvá tettük, hogy az eredmények minél szélesebb körben felhasználhatók legyenek, alapul szolgálhassanak módosításokhoz, továbbfejlesztésekhez. A fejlesztés részleteit 2010 őszén Párizsban meghívott előadásban mutattuk be, később rangos nemzetközi folyóiratban publikáltuk. Megemlítem, hogy egyetemünkön és gyakorló gimnáziumában már közel 30 elkészült műszert használnak oktatási és kutatási célokra is. Emellett hangsúlyt helyeztünk arra is, hogy minimális hardverigénnyel elvégezhető, multimédia számítógépek hangkártyájának felhasználására alapuló kísérletezési megoldásokat mutassunk be, így született a témában több nemzetközi publikációnk is. Tapasztalatainkra építve az utóbbi hónapokban távoli elérésű laboratóriumi (remote controlled laboratory) kísérletezés támogatását célzó hardver- és szoftverfejlesztésekbe fogtunk bele. Fontos célunk ebben is elsősorban az igényes, de mégis egyszerű és elérhető megoldások keresése és részletes bemutatása, mellyel reményeink szerint sokat segíthetünk a komoly gondokkal küzdő természettudományos képzés hatékonyságának növelésében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretném megköszönni a magam és kutatótársaim nevében, hogy az OTKA nélkülözhetetlen támogatásával hozzájárult tudományos munkánk sikeréhez, a kutatási eredmények hasznosításához és több tehetséges fiatal kutató pályájának elindításához is.

Tisztelettel,

Szeged, 2011. augusztus 19.

Gingl Zoltán
témavezető
tanszékvezető egyetemi docens
SZTE Műszaki Informatika Tanszék

<http://www.inf.u-szeged.hu/noise>