

dc_353_11

**Véletlen fluktuációk analízise és
hasznosítása szimulációk és
hardverfejlesztések segítségével**

MTA doktori értekezés tézisei

Gingl Zoltán

Szeged, 2012.

A kutatás célkitűzései és módszerei

Ha zajokról beszélünk, bizonyára mindenkinek először az jut eszébe, hogy egy kellemetlen, elkerülendő, káros jelenségről van szó. A hétköznapi értelemben a zajt hanggal társítjuk, ami vagy túl hangos, vagy túl szabálytalan, véletlenszerű, vagy elfedheti az információt. Műszaki és természettudományos megközelítésben a zaj sokféle mennyiséghez – feszültséghez, áramhoz, hőmérséklethez, fényintenzitáshoz és sok másához – köthető és a mennyiség determinisztikus vagy véletlenszerű ingadozásait jelenti, ami az információszerezést nehezíti, a mérések pontosságát korlátozza, a rendszerek működését zavarhatja. A műszaki és természettudományos területeken a rendkívül széleskörűen előforduló véletlenszerű zajok jelenlétével számolnunk kell, ismernünk és minél nagyobb értéken kell tartanunk a jel/zaj arányt.

A természeti folyamatoknak a véletlenszerűség ugyanakkor alapvető tulajdonsága, szinte mindenhol megtaláljuk: elektronikus eszközök működésében, a töltéshordozók mozgásában; a gáz részecskéinek véletlenszerű mozgásában; a diffúziós folyamatokban; a kvantummechanikában, ahol a valószínűségi értelmezés alapvető szerepű; de az időjárás váltoásaiban; gazdasági és társadalmi folyamatokban is.

A véletlenszerű jelek, zajok gyakran a rendszerek működéséből származnak, így kézenfekvő a feltételezés, hogy a vizsgált rendszerről információt is hordozhatnak. Gondolhatunk akár egy forralni feltett vízből jövő zajszerű hangra, mely a forráshoz közeledve változtatja jellegét, vagy az ellenállásokban a hő hatására véletlenszerű mozgást végző töltéshordozók által okozott fluktuációra [1], melynek intenzitása a hőmérséklet értékétől függ és akár a vérkeringésre is: ma már mérik a szívritmus-ingadozások véletlenszerű komponenseinek nagyságát és következtetnek esetleges rendellenességekre. Váratlan módon betegségekre éppen a túl beszűkült fluktuáció, azaz túl egyenletes szívverés utal [2]. Ennél még meglepőbb hangozhat, hogy bizonyos esetekben véletlenszerű zaj hozzáadásával javítani lehet rendszerek működését, pontosabbá lehet tenni a méréseket és paradox módon növelni lehet akár a jel/zaj viszonyt is. Az úgynevezett dithering [3] segítségével növelni lehet a digitalizálás felbontását, plasztikusabbá tehetünk digitalizált képeket, nagysebességű, precíz analóg-digitál átalakítókba zajgenerátorokat építenek a linearitás növelése érdekében [4] és számos tudományos eredmény utal arra, hogy az élőlények is „használják” az zajt az érzékelés hatékonyságának növelésére [5]. A háttérben gyakran az húzódik meg, hogy egy jel detektálásához egy küszöbértéket el kell érni – ilyen a digitalizálás és az idegsejtek működése is –, amit bizonyos mennyiségű zaj segíthet. Az is előfordulhat, hogy egy rendszer determinisztikus hibáját zaj segítségével „delokalizálni” lehet, jó példa erre az analóg-digitál átalakítók harmonikus torzítása, ahol a hozzáadott zaj csökkenti a torzítást jelentő felharmonikusok amplitúdóját [4].

Ahhoz, hogy a zajokból információt nyerhessünk, hasznunkra fordíthassuk a jelenlétüket, számos problémát kell megoldanunk. A zajok kezelése meglehetősen bonyolult és számításigényes lehet, ami régebben komolyan korlátozta a gyakorlati felhasználási lehetőségeket. Igazi lendületet a modern elektronika, digitális elektronika és megfelelő informatikai háttér adott. Az elektronika segítségével igen hatékonyan lehet matematikai műveletek elvégzését gépesíteni, mikrovezérlőkkel, digitális jelprocesszorokkal, FPGA áramkörökkel rendkívül nagy számítási sebesség érhető el igen kis méret és fogyasztás mellett, a nagyfelbontású és sebességű adatkonverterek és kapcsolódó analóg elektronikai komponensek pedig biztosítják a valós világgal való kapcsolatot. Ma már az analóg és

digitális komponenseket is egyetlen integrált áramkörbe képesek sűríteni, ami nagy megbízhatóságot, hatékonyságot, kis méretet, alacsony fogyasztást és költséget jelent.

A zajkutatások során a modellek megadása, az analitikus kezelés mellett nagyon fontos szerepe van a numerikus szimulációknak, kísérleteknek és méréseknek is, melyekkel olyan esetekben is eredményekhez juthatunk, melyeknél a tisztán analitikus módszerek nem, vagy csak korlátozottan használhatók. A numerikus szimulációk szoros kapcsolatban lehetnek a mérésekhez, kísérletekhez szükséges célhardverekkel is, melyek gyakran beágyazott processzorokat tartalmaznak, így hasonló szoftverek végezhetik el a szükséges műveleteket. Ez a megközelítés igen hatékonyan segíti a tudományos eredmények hasznosítását is, hiszen a kutatások során az analízishez, mérésekhez, jelfeldolgozáshoz kifejlesztett szoftverek és hardverek akár egy későbbi eszköz prototípusaként is alkalmazhatók lehetnek.

A véletlenszerű jelek kezelésére kidolgozott modellek, analitikus és numerikus módszerek, elektronikai, mérés technikai és informatikai háttér közvetlen kapcsolatot teremthet interdiszciplináris alkalmazásokkal és hasznosításokkal is. Szükség lehet a véletlenszerű zajok csökkentésére, kezelésére, elemzésére, esetleg hasznosítására, melyek a fentebb említett módszerekkel és eszközökkel történhetnek. A szívritmus-ingadozások esetén például a nyers EKG jelet digitalizálás után szoftverrel kezelhetjük, meghatározhatjuk a szomszédos szívütések között eltelt időt, kiszámíthatjuk ezek átlagát, szórását, teljesítményspektrumát, a vérnyomással vett korrelációját és kereszteljesítmény-spektrumát – számos mennyiséget, melyeket a zajkutatással foglalkozók is rendszeresen használnak.

A fentebb megfogalmazott gondolatoknak megfelelően alakítottam ki tudományos munkám céljait, melyek közé tartozik a zajfolyamatok minél pontosabb megismerése, információnyerési eljárások keresése és a zaj hasznosítási lehetőségeinek felkutatása is. Alapkutatásként foglalkoztam az igen széles körben – a félvezetőktől a lézerekre át a szívritmus-ingadozásokig terjedően – fellépő, a mai napig nem teljesen megértett, néha misztikus sajátságokkal felruházott $1/f$ zaj tulajdonságainak, generálási elveinek vizsgálatával [A1-A10]. Számos eredményt értem el a sztochasztikus rezonancia területén [D1-D23], melynek esetén zaj hozzáadásával bizonyos rendszerekben optimalizálható az információátvitel, így a gyakorlati hasznosítás is közvetlenebbül adódhat. Az utóbbi években a zajokkal segített gázérzékelés [E1-E13] lehetőségeinek vizsgálatába is bekapcsolódtam és foglalkoztam a biztonságos kommunikáció zajokat használó megvalósításával [F1-F3] és a zaj-alapú logika lehetőségeivel is [G22-G25]. Kiemelten fontosnak tartom az eredmények és módszerek interdiszciplináris hasznosítását, aminek érdekében rendszeres kapcsolatot tartok mérnök, informatikus, fizikus, biofizikus, orvos, és kémikus kollégáimmal is [G1-G21].

Kutatási módszereimet a különböző rendszerekben fellépő véletlenszerű zajok pontos, hatékony elméleti és kísérleti elemzésének megfelelően választottam meg. Számos numerikus módszert fejlesztettem ki és alkalmaztam a modellek működésének szimulációjára, alkalmasságuk elemzésére, a különböző fajtájú véletlenszerű jelek előállítására és analízisére. A kísérleti vizsgálatok céljaira speciális elektronikai, informatikai rendszereket terveztem és készítettem, melyek közé tartoznak megfelelő alacsony zajú erősítők, analóg jelfeldolgozó áramkörök, nagyfelbontású, precíz adatgyűjtő és vezérlő műszerek, mérő- és elemzőszoftverek. A számos egyedi és univerzális kísérleti rendszer nagy része DSP processzorokra és mikrovezérlőkre épül, melyek speciális beágyazott szoftvereinek megírásával a kutatási feladatok elvégzését kiemelkedően hatékonyra tudtam tenni. A hardveres megvalósítások, szoftverek elkészítése egyben a közvetlen hasznosítást is támogatja, az elkészült műszerek egy része prototípusként is felhasználható, ahogy ez az 5. és 6. tézispontban illetve az „Interdiszciplináris alkalmazások, hasznosítások” részben is szerepel. A bonyolult, moduláris DSP-alapú rendszerektől a hüvelykujnyi szenzor-USB interfészig terjedő eszközök orvosi, kémiai, biofizikai és lézerfizikai kutatások mellett a

kísérletező középiskolai és egyetemi képzésben is hasznosnak bizonyultak. A számos kapcsolódó műszaki alkotás részletesebb leírása a személyes oldalamon található meg (<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/mta>).

Új tudományos eredmények

A disszertáció hat fejezete a legfontosabb alapkutatói és alkalmazási eredményeimet foglalja össze. Az elméleti és kísérleti vizsgálatok, az analóg áramkörös és numerikus szimulációk, a műszerhardverek és a kapcsolódó beágyazott és a vezérlő számítógépen futó szoftverek kifejlesztésének a fő célja a véletlenszerű fluktuációk és a kapcsolódó rendszerek működésének pontosabb megismerése, a rendelkezésre álló tudás bővítése. A kutatásaim során a hangsúlyt arra helyeztem, hogy segítsem a véletlenszerű zajok információforrásként való használatát, a jel/zaj viszony növelését és a zajok felhasználását akár bizonyos eszközök működésének javítására, tökéletesebbé tételére, a mérési pontosság növelésére és az információátvitel optimalizálásra.

A legtöbb eredményt a kutatócsoportomban – melyet 1997 óta vezetek – dolgozó kollégáimmal és számos nemzetközi és hazai kutatócsoporttal való együttműködésben értük el. A következőkben megfogalmazott tézisekben a hozzájárulásomat mutatom be, melyek 208 független hivatkozást eredményező 52 cikkre, 18 meghívott előadásra alapulnak.

Tézisek

1. Tézis 1 – $1/f^\alpha$ zaj generálása és amplitúdószaturációja

1. 1. Egy digitális jelprocesszoron (DSP) alapuló $1/f^\alpha$ zajgenerátort terveztem, mely a kívánt teljesítménysűrűség-spektrumot 4 frekvenciadekádron keresztül képes 1%-nál nagyobb pontossággal biztosítani. A sematikus és nyomtatott áramkört is megterveztem, valamint elkészítettem a 9 elsőfokú IIR szűrőre épülő algoritmusnak megfelelő 16-bit fixpontos aritmetikájú ADSP-2105 and ADSP-2181 processzorok forráskódját is.
1. 2. A Gaussi $1/f^\alpha$ fluktuációk egy speciális invarianciáját fedeztem fel: $\alpha \leq 1$ esetén a teljesítménysűrűség-spektrum nem változik, ha a az amplitúdó változatos szintek mellett szaturálódik. Numerikus szimulációkkal meghatároztam a spektrum alakját $1 < \alpha \leq 2$ kitevők esetére is. Társszerzőimnek sikerült elméleti magyarázatot adni az igen kis szaturálódási szintek esetére, melyek a szimulációkkal jó egyezést mutatnak.
1. 3. A szimulációkat kiterjesztettem olyan esetekre is, amikor az szaturációs szintek nem tartalmazzák a jel átlagértékét.

Az igen változatos körülmények között fellépő speciális invariancia magyarázatot adhat számos rendszerben az $1/f$ zaj megjelenésének okára és segíthet az $1/f$ zajok általános előfordulásának megértésében is. A kifejlesztett DSP $1/f^\alpha$ zajgenerátor az eredmények direkt hasznosítását is jelenti.

Publikációk:

- 3 folyóiratcikk [A2,A8,A9]
- 3 konferenciaticikk [A6, A7,A10]
- 2 meghívott előadás [A7,A10]

2. Tézis – Az elektronikus eszközök degradációjának irányított perkolációs modellezése

2. 1. Numerikus szimulációs keretrendszert fejlesztettem ki a vékonyréteg ellenállások termikus degradációjának perkolációs modellezésére. A kódot nagy, kétdimenziós ellenálláshálózatok gyors szimulációjához optimalizáltam. Egy grafikus felhasználói felületű szoftvert is kifejlesztettem a szemléltetés és a folyamatok hatékonyabban elvégezhető analizisének támogatására.
2. 2. Numerikus szimulációkkal meghatároztam a minta ellenállásának és relatív zajának időbeli fejlődését. Lényeges különbséget találtam a hagyományos és az irányított perkolációk esetére, és a kísérleti eredményekkel jó összhangban szálak károsodási szerkezetet és hirtelen növekvő zajt figyeltem meg.
2. 3. Kiszámítottam az ellenállásfluktuációk teljesítménysűrűség-spektrumát is, és azt kaptam, hogy az $1/f$ zaj a tönkremenetel előtti szakaszban jelentősen megváltozik.

Az eredmények segítik a degradációs folyamatok megértését, és az elektronikus eszközök tönkremenetelének beavatkozásmentes eszközeként is szolgálhatnak. Együttműködő partnereim (C. Pennetta és L. Reggiani, University of Lecce, Olaszország) az alkalmazások körét tovább bővítették és a kapcsolódó eredményeket 30-nál több publikációban ismertették.

Publikációk:

- 6 folyóiratcikk [B2,B6,B8,B9,B11,B12]
- 7 konferenciaticikk [B1,B3,B4,B5,B7,B10,B13]
- 1 meghívott előadás [B4]

3. Tézis – DSP adatgyűjtő és vezérlő rendszer a kísérleti zajkutató támogatására

Egy teljes, moduláris digitális jelprocesszor alapú adatgyűjtő és vezérlő rendszert fejlesztettem ki különböző zajkutatóval kapcsolatos kísérletek elvégzésének támogatására. Egyedi kevertjelű buszrendszert terveztem a modulok számára, elvégeztem az összes sematikus elektronikai és nyomtatott áramköri tervezést, a beágyazott szoftver és a vezérlő számítógépen futó, kutatási feladatokhoz szükséges számos LabVIEW és C++ alkalmazást is kifejlesztettem.

Az Eurocard szabványnak megfelelő rendszer egy 16-bites fixpontos ADSP-2181 DSP-re épülő modulból és három kevert jelű modulból áll, melyek 14 és 16 bites adatkonvertereket tartalmaznak. A mintavételi gyakoriság 1MHz-ig terjed, biztosítva van a szimultán mintavételezés is. A méréseket fokozatos közelítéses és szigma-delta architektúrájú analóg-digitál átalakítók végzik, többszörös digitál-analóg átalakítók és szorzó típusú digitál-analóg átalakítók teszik lehetővé a jelek generálását és amplitúdójuk finom szabályozását.

A rendszert a kísérletek széles körében használtam az első, negyedik, ötödik és hatodik tézispontokhoz kapcsolódóan.

A moduláris műszert egy meghívott előadásban mutattam be a 2002 áprilisában a HUNGELEKTRO szimpózium elektronikai szekciójában Budapesten [C3].

Kapcsolódó publikációk (az eredmények a rendszer használatával születtek):

- 6 folyóiratcikk [A1,D7,D11,D19, D21,D22]
- 7 konferenciaticikk [A2,C1,C2,C5,D8,D15,D20]
- 8 meghívott előadás [C3,C4,C6,D15,D16,D18,D19,D22]

4. Tézis – Nagy jel/zaj viszony erősítés sztochasztikus rezonanciával

4. 1. A szintmetszési detektorral nyerhető jel/zaj viszony erősítés numerikus szimulációs vizsgálatához irányítottam Lőrincz Károly PhD-hallgató munkáját. Kis kitöltési

tényezőjú periodikus impulzusszerű jelek esetére igen nagy, 10^4 feletti jel/zaj viszony erősítést kaptunk.

4. 2. Szoftveres keretrendszert fejlesztettem ki és numerikus szimulációkat végeztem a Schmitt-trigger sztochasztikus rezonátorban fellépő jel/zaj viszony erősítés vizsgálatára. Szimmetrikus és aszimmetrikus periodikus pulzussorozat esetére is nagy, 100 feletti jel/zaj viszony erősítést kaptam.
4. 3. Megterveztem és megépítettem egy analóg számítógépet a hagyományos kettős potenciálgödörben fellépő sztochasztikus rezonanciával elérhető jel/zaj viszony erősítés tanulmányozására. A kísérleteket a 3. Tézisben ismertetett DSP adagyűjtő és vezérlő rendszer segítette. Szimmetrikus periodikus pulzussorozatot alkalmazva 20-nál nagyobb jel/zaj viszony erősítést sikerült elérni.
4. 4. A sztochasztikus rezonancia területére bevezettem a műszaki alkalmazások esetén széles körben alkalmazott szélessávú jel/zaj viszony definíció használatát és nagy jel/zaj viszony erősítés lehetőségét demonstráltam bistabil rendszerekben ennek a definíciónak a használatával is.
4. 5. Kezdeményeztem az $1/f^k$ típusú színes zajok monostabil és bistabil rendszerekben előforduló jel/zaj viszony erősítésben betöltött esetleges szerepének vizsgálatát, melyben PhD hallgatóm, Makra Péter numerikus szimulációs vizsgálatait irányítottam. Tisztáztuk, hogy néhány publikációban felvetett lehetőséggel ellentétben az $1/f$ zaj nem játszik kitüntetett szerepet a sztochasztikus rezonancia létrejöttében és megmutattuk, hogy a fehér zaj hatékonyabb működést eredményez.
4. 6. Irányítottam az aperiodikus és véletlenszerű jelek használata esetén elérhető jel/zaj viszony erősítés vizsgálatához folytatott kísérleti munkát, melyet PhD hallgatóm, Mingesz Róbert végzett a 4.3. pontban és a 3. tézisben ismertetett analóg számítógép és DSP rendszer segítségével. Megmutattuk, hogy jelentős jel/zaj viszony erősítés érhető el igen rendszertelen jelek használata esetén is.
4. 7. Kezdeményeztem a véletlenszerűen modulált idődigitalizálási eljárás alkalmazását excimer lézerpulzusok szabályozásának javítására külső és belső triggerelési módok esetére. Irányítottam egy speciális mikrokontroller-alapú elektronika tervezését és elkészítését, mely szoftveresen vezérelhető késleltető elemeket tartalmaz és a korábban használt egység számos hiányosságát kiküszöböli. A véletlenszerű modulálással és néhány integrált áramkört tartalmazó költséghatékony egységgel az időfelbontást egy nagyságrenddel sikerült megjavítani, ami a szabályozás hatékonyságának jelentős növelését is eredményezte.

A 165 – jelenleg is évente átlagosan 10 – független hivatkozás és a 6 nemzetközi meghívott előadás az eredmények jelentős elfogadottságát és hatását mutatja, számos csoport folytatta és jelenleg is folytatja a kutatásokat. A témához kapcsolódóan a Fluctuation and Noise Letters különszámának [D21] szerkesztésével bíztak meg, egy konferencia elnöki és egy másik társelnöki szerepét töltöttem be [D22,D23].

A kifejlesztett kísérleti rendszerek nagymértékben segíthetik az eredmények hasznosítását. A 4.7 pontban megemlített mikrokontroller-alapú egység korábbi verziója több lézerbe is be van már szerelve, az új egység minimális módosítással szintén beépíthetővé tehető.

Publikációk:

8 folyóiratcikk [D2,D7,D8,D10,D14, D17,D19,D20]

7 konferenciaticikk [D6,D9,D11,D13,D15,D16,D18]

6 meghívott előadás [D7,D11,D12,D16,D17,D20]

5. Tézis – Fluktuációkkal segített gázérzékelés

5. 1. Egy speciális mérőrendszert fejlesztettem ki szén nanocső alapú gázszenzorok fluktuációkkal segített érzékelésének vizsgálatára. A rendszer a 3. tételben ismertetett modulokra épül. A kísérletekkel megmutattuk, hogy a zajból nyert információ segítségével a szenzor kémiai szelektivitása jelentősen megnövelhető.
5. 2. Numerikus szimulációs rendszert fejlesztettem ki és szimulációs vizsgálatokat végeztem a drift – a kémiai szelektivitás növelése érdekében használt – főkomponens (PCA) analízist befolyásoló hatásának elemzésére. A szimulációs és mért adatok összevetése segítségével megmutatható volt, hogy a kísérletekben megfigyelhető drift nagysága nem befolyásolja számottevően az alkalmazott jelfeldolgozási módszerek alkalmazhatóságát és hatékonyságát.
5. 3. A SANES (*Integrated Self-Adjusting Nano-Electronic Sensors*, <http://cordis.europa.eu/>) Európai Unió projektéhez kapcsolódóan megterveztem és megépítettem egy kompakt USB portra köthető műszert és egy alacsony zajú analóg jelkondicionáló modult fluktuációkkal segített érzékelés támogatására. Az egységet – mely prototípusként használható későbbi hasznosításokhoz – sikeresen teszteltük szén nanocső szenzorokkal.
5. 4. Numerikus szimulációs környezetet fejlesztettem ki és szimulációkat végeztem annak igazolására, hogy a szintmetszési statisztika jóval egyszerűbb és gyorsabb alternatívája lehet a spektrális analízisen alapuló módszereknek a fluktuációkkal segített érzékelésben. A módszer különösen alacsony fogyasztású beágyazott rendszerek és önálló, elemes táplálású vezeték nélküli szenzorok esetén ígéretes.

A továbbiakban is tervezzük a mérési és jelfeldolgozási módszerek fejlesztését partnereinkkel – L.B. Kish, Texas A&M University és Chiman Kwan, Signal Processing Inc. – folytatandó együttműködés keretében. A kísérletekhez egy speciális célműszert már kifejlesztettem és rendelkezésre állnak National Institute of Standards and Technology (NIST) szenzormodulok is. Partnereink a kutatások támogatására hamarosan egy második fázisú NIST pályázatot is benyújtanak.

Publikációk:

- 7 folyóiratcikk [E3,E4,E6,E8,E10,E11,E12]
- 4 konferenciaticikk [E1,E2,E9,E13]
- 5 meghívott előadás [E1,E5,E7,E9,E12]

6. Tétel – Abszolút biztonságos kommunikáció termikus zaj segítségével

Megterveztem és megépítettem egy – a 3. tételben leírt modulokra épülő – DSP alapú hardverrendszert az úgynevezett Kirchhoff Loop Johnson (-like) Noise (KLJN) abszolút biztonságos kommunikáció kísérleti demonstrálásához 2km-től 2000km-ig terjedő modell kommunikációs vonalak használatával. Emellett kifejlesztettem egy kompakt, USB portra köthető mikrokontroller alapú egységet is. Ez a biztonságos kulcscserélési eljárás komoly alternatívája a kvantumkommunikátoroknak. Kísérleteink alapján a rendszer robusztus, a biztonsági és jelminőségi tulajdonságai lényegesen meghaladják a kvantumkommunikátorokét. Eredményeink egy másik kulcscserélési módszer kidolgozását is inspirálták [Liu PL, Journal of Lightwave Technology 27: (23) 5230-5234 (2009)].

Publikációk:

- 2 folyóiratcikk [F1,F3]
- 1 konferenciaticikk [F2]
- 1 plenáris előadás [F2]

Interdiszciplináris alkalmazások, az eredmények hasznosítása

A tézispontoknál már említettem alkalmazási és hasznosítási lehetőségeket, a következőkben a kapcsolódó fejlesztések szélesebb körét ismertetem röviden. A zajkutató feladatok során szerzett hardver- és szoftverfejlesztési tapasztalataim alapján számos számítógépvezérelt műszert terveztem és készítettem különböző kutatási, oktatási és ipari alkalmazások céljaira, melyekhez 63 publikáció és 163 független hivatkozás köthető. A következőkben a legfontosabb eredményeket sorolom fel, részletesebb információ a személyes oldalaimon érhető el [G1].

- Személyi számítógépbe telepíthető mérőkártyákat (ISA busz) [G2,G3], később pedig DSP- és mikrokontroller-alapú műszereket, számos adatgyűjtő és elemzőszoftvert fejlesztettem ki EKG, vérnyomás és légzés speciális mérésére [G4]. Az egyik fontos cél a szívritmus és vérnyomás-fluktuációk mérése és statisztikai, spektrális analízise, ami a zajkutatásban alkalmazott módszerekhez is szorosan kapcsolódik [G5-G7]. A legutóbbi eredményem egy 128 csatornás EKG térképező műszer hardverének és szoftverének megtervezése [G8]. Ezekhez kapcsolódóan 56 orvosi témájú közlemény társszerzője vagyok, melyek közt nemzetközi konferencián elhangzott meghívott előadás is szerepel [G6]. A publikációkhoz 74 független hivatkozás tartozik.
- Fotoakusztikus mérések segítésére kifejlesztettem egy DSP adatgyűjtő és vezérlő rendszert, mely tartalmaz lézerdióda-meghajtó áramköröket, termoelektromos hűtést (TEC), alacsony zajú mikrofonerősítőt, nagyfelbontású adatkonvertereket és a kapcsolódó beágyazott szoftvert is. A kapcsolódó folyóiratcikk [G9] 22 független hivatkozást kapott.
- DSP és mikrokontroller-alapú műszerek hardverét és a hozzájuk tartozó grafikus felhasználói felületű szoftvereket fejlesztettem ki automatikus titrálási feladatok elvégzéséhez. Egy közlemény [G10] 32 független hivatkozással és egy nemzetközi szabadalom [G11] is kapcsolódik a munkához.
- Irányítottam egy speciális számítógépvezérelt műszer kifejlesztését vezető polypyrrole-ezüst nanokompozitok termikus és elektromos tulajdonságainak méréséhez. A kapcsolódó publikáció [G12] 35 független hivatkozást kapott.
- Egy hallgatómmal közösen kifejlesztettük egy precíz, kompakt USB-portos műszer hardverét és a hozzá tartozó beágyazott és grafikus felhasználói felületű szoftvereket bakteriális fotoszintézis mérésére [G13,G14]. Szeretném kifejezni tiszteletemet kiemelkedően tehetséges fizika BSc szakos hallgatónak, a 2012-ben tragikusan elhunyt Kocsis Péternek, aki az analóg elektronikai tervezésben és beágyazott programozásban nélkülözhetetlen segítséget nyújtott.
- Több számítógépvezérelt műszert terveztem és készítettem a kísérletező fizika, kémia, biológia és informatika oktatásának támogatására. Legutóbb egy kisméretű szenzor-USB interfészt fejlesztettem ki [G15] nyílt forrású hardverrel és beágyazott szoftverrel. Egy grafikus felületű általános mérőszoftvert is készítettem Windows operációs rendszerekhez C++ környezetben, a nyílt forrású C# kódot kollégám, Makra Péter fejlesztette. Az eredményekről egy meghívott előadásban számoltam be [G16]. Több mint 50 egység készült el, melyek középiskolákban és az egyetemünkön is használatban vannak. Megemlítem, hogy a műszert sikeresen alkalmaztuk gyorsulásszenzorokra épülő aláírásfelismerési kutatási projektben is [G17,G18], és megterveztem egy – az oktatási alkalmazások mellett – ipari felhasználásokat is célzó 24-bit felbontású szenzor-USB interfészt is [G19]. A műszaki képzés támogatására több más kísérleti fejlesztésben is részt vettem [C1,C2,C5,G20,G21].

dc_353_11

Zárásként szeretném megjegyezni, hogy nemrég a 2009-ben bevezetett zaj-alapú logika kutatási témába kapcsolódtam be [G22-G25].

Publikációk

- [1] Johnson JB, Thermal agitation of electricity in conductors, *Physical Review* 32:(2), pp. 97-109
- [2] Singer DH, Martin GJ, Magid N, Weiss JS, Schaad JW, Kehoe R, Zheutlin T, Fintel DJ, Hsieh AM, Lesch M, Low heart rate variability and sudden cardiac death. *JOURNAL OF ELECTROCARDIOLOGY* 21 p S46 (1988)
- [3] Vanderkooy J, Lipshitz SP, Resolution below the least significant bit in digital systems with dither, *JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY*, 32:(3), pp. 106-113 (1984)
- [4] Kester W, ADC input noise: The good, the bad and the ugly. Is no noise good noise? *ANALOG DIALOGUE* 40:(2), pp. 13-17. (2006)
- [5] Russett DF, Wilkens LA, Moss F, Use of behavioural stochastic resonance by paddle fish for feeding. *NATURE* 402:(6759), pp. 291-294. (1999)

Publikációk az 1. tézisponthoz

- [A1] Ambrózy A, Bánlaki P, **Gingl Z**, Kiss LB, Vajtai R, Trefán G, Hevesi I, $1/f^k$ noise generators based on computer random-walk. In: Ambrózy A (ed.) *Noise in Physical Systems: Proc. of the 10th. International Conf. on Noise in Physical Systems*. Budapest, Hungary, 21/07/1989-25/07/1989. Budapest: Academic Press, pp. 573-575.
- [A2] Mingesz R, Bara P, **Gingl Z**, Makra P, Digital signal processor (DSP) based $1/f$ (a) noise generator. *FLUCTUATION AND NOISE LETTERS* 4:(4) pp. L605-L616. (2004)
- [A3] Trefan G, Kiss LB, **Gingl Z**, Hevesi I, Torok IM, Diffusion noise generators realized by analog circuits. In: Ambrózy A (ed.) *Noise in Physical Systems: Proc. of the 10th. International Conf. on NOISE in Physical Systems*. Budapest, Hungary, 21/07/1989-25/07/1989. Budapest: Academic Press, pp. 569-572.
- [A4] Kiss L B, **Gingl Z**, Márton Zs, Kertész J, Moss F, Schmera G, Bulsara A, $1/f$ noise in systems showing stochastic resonance. *JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS* 70:(1-2) pp. 451-462. (1993)
- [A5] **Gingl Z**, Kiss LB, A Crucial Property of Gaussian $1/f$ Fluctuations. *Proceedings of the 7th Vilnius Conference on Fluctuation Phenomena in Physical Systems*. Palanga, Lithuania, 04/10/1994-07/10/1994. Vilnius: pp. 274-279.(ISBN:9986-19-078-9)
- [A6] **Gingl Z**, Kiss LB, Invariance of $1/f$ spectrum of Gaussian noises against amplitude-saturation nonlinearity. In: Doering Ch R, Kiss L B, Shlesinger M F (ed.) *Proc. of the First International Conference on Unsolved Problems of Noise in Physics, Biology, Electronic Technology and Information Technology, UPoN'96*. Szeged, Hungary, 1997 World Scientific, pp. 337-342.
- [A7] **Gingl Zoltan**, Ishioka Shunya, Choi Donghak, Fuchikami Nobuko, Theoretical and experimental results concerning the amplitude truncation of Gaussian $1/f$ [sup alpha] noises. In: Abbott Derek, Kish Laszlo B (ed.) *AIP Conference Proceedings: UNSOLVED PROBLEMS OF NOISE AND FLUCTUATIONS*. Adelaide, Australia, 12/07/1999-15/07/1999. (511) American Institute of Physics, pp. 136-143.
- [A8] Ishioka S, **Gingl Z**, Choi D, Fuchikami N, Amplitude truncation of Gaussian $1/f(\alpha)$ noises. *PHYSICS LETTERS A* 269:(1) pp. 7-12. (2000)
- [A9] **Gingl Z**, Ishioka S, Choi D, Fuchikami N, Amplitude truncation of Gaussian $1/f(\alpha)$ noises: Results and problems. *CHAOS* 11:(3) pp. 619-623. (2001)
- [A10] **Gingl Z**, Mingesz R, Makra P, On the Amplitude and Time-structure Properties of $1/f$ [sup alpha] Noises. In: Bezrukov Sergey M (ed.) *AIP Conference Proceedings*:

UNSOLVED PROBLEMS OF NOISE AND FLUCTUATIONS. Washington, United States of America, 02/07/2002-06/07/2002. (665) American Institute of Physics, pp. 578-583.

Publikációk a 2. tézisponthoz

- [B1] **Gingl Z**, Pennetta C, Kiss LB, Reggiani L, An extended analysis of noise and resistance degradation within the biased percolation model. In: Claeys C, Simoen E (ed.) Third ELEN Workshop. Leuven, Belgium, 05/11/1996-07/11/1996. pp. 114-119.
- [B2] **Gingl Z**, Pennetta C, Kiss LB, Reggiani L, Biased percolation and abrupt failure of electronic devices. SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY 11:(12) pp. 1770-1775. (1996)
- [B3] **Gingl Z**, Pennetta C, Kiss L B, Reggiani L, A biased percolation model for the analysis of electronic-device degradation. In: Stojadinovic N (ed.) 21st International Conference on Microelectronics: Vol.2. Nis, Yugoslavia, 14/09/1997-17/09/1997. (2) pp. 651-654.(ISBN:0-7803-3664-X)
- [B4] **Gingl Z**, Pennetta C, Kiss LB, Reggiani L, Biased percolation and noise analysis of electrical breakdown. In: Proceedings of the 14 International Conference on Noise in Physical Systems and Fluctuations (ICNF97). Leuven, Belgium, 14/07/1997-18/07/1997. pp. 409-414.
- [B5] Pennetta C, **Gingl Z**, Kiss LB, Reggiani L, A numerical simulation of excess noise for degradation and failure of thin film resistors. In: Proceedings of the 14 International Conference on Noise in Physical Systems and Fluctuations (ICNF97). Leuven, Belgium, 14/07/1997-18/07/1997. pp. 419-422.
- [B6] Pennetta C, **Gingl Z**, Kiss LB, Reggiani L, Biased percolation and electrical breakdown. SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY 12:(9) pp. 1057-1063. (1997)
- [B7] Pennetta C, **Gingl Z**, Kiss LB, Reggiani L, Noise, Biased percolation and Abrupt Failure of Electronic Devices. In: Doering Ch R, Kiss L B, Shlesinger M F (ed.) Proc. of the First International Conference on Unsolved Problems of Noise in Physics, Biology, Electronic Technology and Information Technology, UPoN'96. Szeged, Hungary, 1997 World Scientific, pp. 87-91.
- [B8] **Gingl Z**, Pennetta C, Kiss LB, Reggiani L, Biased percolation model for the analysis of electronic-device degradation. MICROELECTRONICS RELIABILITY 38:(4) pp. 515-521. (1998)
- [B9] Pennetta C, **Gingl Z**, Kiss LB, Reggiani L, De Vittorio M, Cola A, Mazzer M, A percolative simulation of dielectric-like breakdown. MICROELECTRONICS RELIABILITY 38:(2) pp. 249-253. (1998)
- [B10] Pennetta C, Reggiani L, **Gingl Z**, Kiss LB, A percolative study of electrical breakdown. In: Fiorentini V, Meloni F (ed.) PROCEEDINGS OF THE VII ITALIAN-SWISS WORKSHOP ADVANCES IN COMPUTATIONAL MATERIALS SCIENCE II. Cagliari, Italy, 19/09/1997-23/09/1997. pp. 87-94.
- [B11] Pennetta C, Kiss LB, **Gingl Z**, Reggiani L, Excess thermal-noise in the electrical breakdown of random resistor networks. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL B 12:(1) pp. 61-65. (1999)
- [B12] Pennetta C, Kiss LB, **Gingl Z**, Reggiani L, A noise temperature analysis of the electrical degradation of thin nanostructured films. JOURNAL OF NANOPARTICLE RESEARCH 2:(1) pp. 97-101. (2000)
- [B13] Kish Laszlo B, Penetta Cecilia, **Gingl Zoltan**, Biased percolation approach to failure propagation in nanostructures and prediction of the total failure by electronic noise

analysis. In: Cao Guozhong, Kirk Wiley P (ed.) Nanoscale Optics and Applications. Seattle, United States of America, 01/11/2002-04/11/2002. (4809) SPIE, pp. 217-221.

[B14] <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/biasperc>

Publikációk a 3. tézisponthoz

- [C1] **Gingl Zoltán**, Kántor Zoltán, Intelligent General Purpose Data Acquisition Units For Student Labs. In: Pacher Pál, Pipek János (ed.) Proceedings of the Second European Conference on Physics Teaching In Engineering Education (PTEE 2000). Budapest, Hungary, 14/06/2000-17/06/2000. Budapest University of Technology and Economics, pp. P23/1-P23/5. Paper 23.
- [C2] **Gingl Zoltán**, Kántor Zoltán, Virtual Measurement Technology In The Education Of Physicists And Communication Engineers. In: Pacher Pál, Pipek János (ed.) Proceedings of the Second European Conference on Physics Teaching In Engineering Education (PTEE 2000). Budapest, Hungary, 14/06/2000-17/06/2000. Budapest University of Technology and Economics, pp. P57/1-P57/6. Paper 57.
- [C3] **Gingl Zoltán**, Kántor Zoltán, Mingesz Róbert, A DAS1414 általános célú intelligens adatgyűjtő és vezérlő egység és alkalmazásai. HUNGELEKTRO 2002, 7th International Exhibition and Conference on Electronics Technology, Budapest, 23 April 2002., www.muszeroldal.hu (2002), <http://www.hungelektro.hu/ekonf.html#ele>
- [C4] **Gingl Zoltán**, Kántor Zoltán Virtuális méréstechnika a kísérletező oktatásban. p. 348. Program tartalmi összefoglalók, II. Országos Neveléstudományi Konferencia, MTA Pedagógiai Bizottsága, Budapest Október 24-26. (2002)
- [C5] Kantor Z, **Gingl Z**, Virtual instruments perform real experiments in the physics class. In: Physics Teaching in Engineering Education PTEE 2002. Leuven, Belgium, 05/06/2002-07/06/2002. Paper 1. (ISBN:90-5682-359-0)
- [C6] **Gingl Z**, Real measurements using virtual measurement techniques. Invited talk at 11th Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning University of Szeged 20-22 September 2006 (2006)
- [C7] <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/das1414/>

Publikációk a 4. tézisponthoz

- [D1] **Gingl Z**, Kiss LB, Moss F, Non-dynamical stochastic resonance: Theory and experiments with white and arbitrarily coloured noise. EUROPHYSICS LETTERS 29:(3) pp. 191-196. (1995)
- [D2] Loerincz K, **Gingl Z**, Kiss LB, A stochastic resonator is able to greatly improve signal-to-noise ratio. PHYSICS LETTERS A 224:(1-2) pp. 63-67. (1996)
- [D3] Lorincz K, Balazsi G, **Gingl Z**, Kiss LB, Stochastic resonance at phase noise. In: Doering Ch R, Kiss L B, Shlesinger M F (ed.) Proc. of the First International Conference on Unsolved Problems of Noise in Physics, Biology, Electronic Technology and Information Technology, UPoN'96. Szeged, Hungary, 1997 World Scientific, pp. 223-228.
- [D4] Loerincz K, **Gingl Z**, Kiss LB, Bulsara AR, Higher order stochastic resonance in a level-crossing detector. PHYSICS LETTERS A 254:(3-4) pp. 154-157. (1999)
- [D5] **Gingl Z**, Vajtai R, Kiss LB, A self-adaptive stochastic resonator with logarithmic transfer. CHAOS SOLITONS & FRACTALS 11:(12) pp. 1933-1935. (2000)
- [D6] Fulei Tamas, **Gingl Zoltan**, Makra Peter, Mechanism of signal-to-noise ratio gain in a monostable threshold stochastic resonators. In: Schimansky-Geier Lutz, Abbott Derek, Neiman Alexander, Van den Broeck Christian (ed.) Noise in Complex Systems and Stochastic Dynamics. Santa Fe, United States of America, 08/05/2003-11/05/2003. (5114) SPIE, pp. 327-334.

- [D7] **Gingl Z**, Vajtai R, Kiss LB, Signal-to-noise ratio gain by stochastic resonance in a bistable system. CHAOS SOLITONS & FRACTALS 11:(12) pp. 1929-1932. (2000)
- [D8] **Gingl Z**, Makra P, Vajtai R, High signal-to-noise ratio gain by stochastic resonance in a double well. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 1:(3) pp. L181-L188. (2001)
- [D9] **Gingl Z**, Vajtai R, Makra P, High signal-to-noise ratio gain by stochastic resonance in a double well. In: Bosman G (ed.) Proceedings of the 16th International Conference on Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF 2001). Gainesville, United States of America, 22/10/2001-25/10/2001. Singapore: World Scientific, pp. 545-548.(ISBN:981-02-4677-3)
- [D10] Makra P, **Gingl Z**, Kish LB, Signal-to-noise ratio gain in non-dynamical and dynamical bistable stochastic resonators. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 2:(3) pp. L147-L155. (2002)
- [D11] Makra Peter, **Gingl Zoltan**, A Dynamical System Exhibits High Signal-to-noise Ratio Gain by Stochastic Resonance. In: Bezrukov Sergey M (ed.) AIP Conference Proceedings: UNSOLVED PROBLEMS OF NOISE AND FLUCTUATIONS. Washington, United States of America, 02/07/2002-06/07/2002. (665) American Institute of Physics, pp. 100-108.
- [D12] Makra P, **Gingl Z**, Mingesz R Signal-to-noise ratio gain by stochastic resonance and its possible applications. Invited talk at International Workshop on Stochastic Resonance: New Horizons in Physics and Engineering Dresden 4–7 October 2004 (2004)
- [D13] **Gingl Z**, Makra P, Fulei T, Vajtai R, Mingesz R, Colored noise driven stochastic resonance in a double well and in a Fitzhugh-Nagumo neuronal model. In: Bosman G (ed.) Proceedings of the 16th International Conference on Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF 2001). Gainesville, United States of America, 22/10/2001-25/10/2001. Singapore: World Scientific, pp. 420-423.(ISBN:981-02-4677-3)
- [D14] Makra P, **Gingl Z**, Fulei T, Signal-to-noise ratio gain in stochastic resonators driven by coloured noises. PHYSICS LETTERS A 317:(3-4) pp. 228-232. (2003)
- [D15] Makra Peter, **Gingl Zoltan**, Fulei Tamas, Signal-to-noise ratio gain in stochastic resonators driven by colored noises. In: Gingl Z, Sancho JM, Schimansky-Geier L, Kertesz J (ed.) Noise in Complex Systems and Stochastic Dynamics II. Mapalomas, Spain, 25/05/2004-28/05/2004. (5471) SPIE, pp. 213-221. (ISBN:9780819453938)
- [D16] Mingesz Robert, Makra Peter, **Gingl Zoltan**, Cross-spectral analysis of signal improvement by stochastic resonance in bistable systems (Invited Paper). In: Kish Laszlo B, Lindenberg Katja, Gingl Zoltan (ed.) Noise in Complex Systems and Stochastic Dynamics III. Austin, United States of America, 23/05/2005-26/05/2005. (5845) SPIE, pp. 283-292. (ISBN:9780819458407)
- [D17] Mingesz R, **Gingl Z**, Makra P, Marked signal improvement by stochastic resonance for aperiodic signals in the double-well system. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL B 50:(1-2) pp. 339-344. (2006)
- [D18] Mingesz Robert, **Gingl Zoltan**, Almasi Gabor, Makra Peter, Utilising jitter noise in the precise synchronisation of laser pulses. In: Macucci Massimo, Vandamme Lode K, Ciofi Carmine, Weissman Michael B (ed.) Noise and Fluctuations in Circuits, Devices, and Materials. Florence, Italy, 07/06/2007-10/06/2007. (6600) SPIE, pp. 66000Z-8.
- [D19] Mingesz R, **Gingl Z**, Almasi G, Csengeri A, Makra P, Utilising jitter noise in the precise synchronisation of laser pulses. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 8:(1) pp. L41-L49. (2008)

- [D20] Mingesz R, Barna A, **Gingl Z**, Mellár J, Enhanced control of excimer laser pulse timing using tunable additive noise. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 12 (2012), *in press*. e-print: <http://arxiv.org/abs/1109.2632>
- [D21] **Gingl Z** (ed.) Fluctuation and Noise Letters.: Special Issue on Stochastic Resonance I: Fundamental and Special Aspects. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 2:(3) Singapore: World Scientific, (2002).
- [D22] **Gingl Z**, Sancho JM, Schimansky-Geier L, Kertesz J (ed.) Noise in Complex Systems and Stochastic Dynamics II. (5471) Mapalomas, Spain, 2004.05.25-2004.05.28. SPIE, 2004. 660 p.
- [D23] Kish Laszlo B, Lindenberg Katja, **Gingl Zoltan** (ed.) Noise in Complex Systems and Stochastic Dynamics III. (5845) Austin, USA, 2005.05.23-2005.05.26. SPIE, 2005. 328 p.

Publikációk az 5. tézisponthoz

- [E1] Kish Laszlo B, Mingesz Robert, **Gingl Zoltan**, Schmera Gabor, Smulko Janusz, Kwan Chiman, Heszler Peter, Granqvist Claes-Goran, Novel Applications of Noise in Sensing and Communications. In: Tacano Munecazu, Yamamoto Yoshiharu, Nakao Mitsuyuki (ed.) NOISE AND FLUCTUATIONS: 19th International Conference on Noise and Fluctuations - ICNF 2007. Tokyo, Japan, 09/07/2007-14/07/2007. (922) American Institute of Physics, pp. 405-410. (AIP Conference Proceedings; 922.)(ISBN:978-0-7354-0432-8)
- [E2] Kish LB, Solis J, Vajtai R, Granqvist C-G, Marlow W, Olsson J, Schnurer J, Lantto V, **Gingl Z**, How can noise ‘smell’ and remember that ‘smell’: sampling-and-hold electronic nose. In: Bosman G (ed.) Proceedings of the 16th International Conference on Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations (ICNF 2001). Gainesville, United States of America, 22/10/2001-25/10/2001. Singapore: World Scientific, pp. 779-782.(ISBN:981-02-4677-3)
- [E3] Haspel H, Ionescu R, Heszler P, Kukovecz A, Konya Z, **Gingl Z**, Maklin J, Mustonen T, Kordas K, Vajtai R, Ajayan PM, Fluctuation enhanced gas sensing on functionalized carbon nanotube thin films. PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC RESEARCH 245:(10) pp. 2339-2342. (2008)
- [E4] Heszler P, **Gingl Z**, Mingesz R, Csengeri A, Haspel H, Kukovecz A, Konya Z, Kiricsi I, Ionescu R, Maklin J, Mustonen T, Toth G, Halonen N, Kordas K, Vahakangas J, Moilanen H, Drift effect of fluctuation enhanced gas sensing on carbon nanotube sensors. PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC RESEARCH 245:(10) pp. 2343-2346. (2008)
- [E5] Kukovecz A, Heszler P, Kordas K, Roth S, Konya Z, Haspel H, Ionescu R, Sapi A, Maklin J, Mohl M, **Gingl Z**, Vajtai R, Kiricsi I, Ajayan PM, Improving the performance of functionalized carbon nanotube thin film sensors by fluctuation enhanced sensing. In: Proceedings of SPIE Optics + Photonics 2008. San Diego, United States of America, 10/08/2008-14/08/2008. pp. 70370Y/1-70370Y10.
- [E6] Maklin J, Mustonen T, Halonen N, Toth G, Kordas K, Vahakangas J, Moilanen H, Kukovecz A, Konya Z, Haspel H, **Gingl Z**, Heszler P, Vajtai R, Ajayan PM, Inkjet printed resistive and chemical-FET carbon nanotube gas sensors. PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC RESEARCH 245:(10) pp. 2335-2338. (2008)
- [E7] **Gingl Zoltán**, Fluktuációkkal javított gázérzékelés szén nanocsövekkel és más szenzorokkal. Integrált Mikro/Nanorendszerek Nemzeti Technológiai Platform konferencia, 2009. március 27., Budapest (2009)
- [E8] Kukovecz Á, Molnár D, Kordás K, **Gingl Z**, Moilanen H, Mingesz R, Kónya Z, Mäklin J, Halonen N, Tóth G, Haspel H, Heszler P, Mohl M, Sapi A, Roth S, Vajtai R,

- Ajayan P M, Pouillon Y, Rubio A, Kiricsi I, Carbon nanotube based sensors and fluctuation enhanced sensing. *PHYSICA STATUS SOLIDI C-CURRENT TOPICS IN SOLID STATE PHYSICS* 7:(3-4) pp. 1217-1221. (2010)
- [E9] Molnar D, Heszler P, Mingesz R, **Gingl Z**, Kukovecz A, Konya Z, Haspel H, Mohl M, Sapi A, Kiricsi I, Kordas K, Maklin J, Halonen N, Toth G, Moilanen H, Roth S, Vajtai R, Ajayan PM, Pouillon Y, Rubio A, Increasing chemical selectivity of carbon nanotube-based sensors by fluctuation-enhanced sensing. *FLUCTUATION AND NOISE LETTERS* 9:(3) pp. 277-287. (2010)
- [E10] Mingesz R, **Gingl Z**, Kukovecz A, Konya Z, Kordas K, Moilanen H, Compact USB measurement and analysis system for real-time fluctuation enhanced sensing. In: Deen MJ, Kasap S (ed.) *Proceedings of the 21st International Conference on Noise and Fluctuations*. Toronto, Canada, 12/06/2011-16/06/2011. IEEE, pp. 385-388.(ISBN:978-1-4577-0189-4)
- [E11] Kish L, Chang H, King M, Kwan C, Jensen J, Schmera G, Smulko J, **Gingl Z**, Granqvist C, Fluctuation-Enhanced Sensing for Biological Agent Detection and Identification. *IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY* 10:(6) pp. 1238-1242. (2011)
- [E12] **Gingl Z**, Kish LB, Ayhan B, Kwan C, Granqvist CG, Fluctuation-Enhanced Sensing With Zero-Crossing Analysis for High-Speed and Low-Power Applications. *IEEE SENSORS JOURNAL* 10:(3) pp. 492-497. (2010)
- [E13] Schmera G, **Gingl Z**, Kish LB, Ayhan B, Kwan C, Granqvist CG, Separating Chemical Signals of Adsorption-Desorption and Diffusive Processes. *IEEE SENSORS JOURNAL* 10:(3) pp. 461-464. (2010)

Publikációk a 6. tézisponthoz

- [F1] Kish L, Mingesz R, **Gingl Z**, Unconditionally secure communication via wire. *SPIE Newsroom, Optoelectronics & Communications* (2007)
- [F2] Kish Laszlo B, Mingesz Robert, **Gingl Zoltan**, Thermal noise informatics: totally secure communication via a wire, zero-power communication, and thermal noise driven computing. In: Macucci Massimo, Vandamme Lode K, Ciofi Carmine, Weissman Michael B (ed.) *Noise and Fluctuations in Circuits, Devices, and Materials*. Florence, Italy, 07/06/2007-10/06/2007. (6600) SPIE, pp. 660003-660013.
- [F3] Mingesz R, **Gingl Z**, Kish LB, Johnson(-like)-Noise-Kirchhoff-loop based secure classical communicator characteristics, for ranges of two to two thousand kilometers, via model-line. *PHYSICS LETTERS A* 372:(7) pp. 978-984. (2008)

Publikációk az interdiszciplináris alkalmazásokhoz

- [G1] <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/>
- [G2] Kardos A, **Gingl Z**, A szisztémás vérnyomás és pulzusvariabilitás folyamatos, nem invazív, on-line vizsgálata emberben. *CARDIOLOGIA HUNGARICA* 2: pp. 39-51. (1994),
<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/COMONOBHV/>
- [G3] Kardos A, Rudas L, Simon J, **Gingl Z**, Csanady M, Effect of postural changes on arterial baroreflex sensitivity assessed by the spontaneous sequence method and Valsalva manoeuvre in healthy subjects. *CLINICAL AUTONOMIC RESEARCH* 7:(3) pp. 143-148. (1997)
- [G4] <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/WSMon/>
- [G5] Szili-Török T, Gingl Z, Kardos A, Halmai L, Rudas L, Windowed FFT – a time-variant spectral analysis: applicability during the head-up tilt test. *JOURNAL OF CLINICAL AND BASIC CARDIOLOGY* 2: pp. 241-244. (1999)

- [G6] Gingl Z, Makra P, Rudas L, Zollei E, Csik N, Spectral analysis problems of heart rate and blood pressure fluctuations. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 7:(2) pp. L143-L150. (2007)
Based on an invited talk presented at the conference Unsolved Problems of Noise, Gallipolli, Italy, 2005
- [G7] Sághy László, Vassil Borislavov Traykov, **Gingl Zoltán**, Pap Róbert, Forster Tamás, Frekvenciaanalízis pitvarfibrillációban. CARDIOLOGIA HUNGARICA 39:(3) pp. 229-235. (2009)
- [G8] <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/WSMon/>
- [G9] Bozóki Z, Sneider J, **Gingl Z**, Mohácsi Á, Szakáll M, Bor Zs, Szabó G, A high-sensitivity, near-infrared tunable-diode-laser-based photoacoustic water-vapour-detection system for automated operation. MEASUREMENT SCIENCE & TECHNOLOGY 10: pp. 999-1003. (1999)
<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/PADL/>
- [G10] E Tombácz, G Filipcsei, M Szekeres, **Z Gingl**, Particle aggregation in complex aquatic systems. COLLOIDS AND SURFACES A-PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS 151: pp. 233-244. (1999)
<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/GIMET/>
- [G11] Szekeres Márta, Fülei Tamás, **Gingl Zoltán**, Tombácz Etelka, Dékány Imre, PROCESS FOR PH-CONTROL AND STOICHIOMETRIC PH-STAT MEAN. Patent ID: 0600636 Publication year: 2008, <http://worldwide.espacenet.com>
- [G12] E Pintér, R Patakfalvi, T Fülei, **Z Gingl**, I Dékány, Cs Visy, Characterization of polypyrrole-silver nanosomposites. Prepared in the presence of different dopants. JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B - CONDENSED MATTER MATERIALS SURFACES INTERFACES AND BIOPHYSICAL 109:(37) pp. 17474-17478. (2005)
- [G13] Kocsis P, Asztalos E, **Gingl Z**, Maroti P, Kinetic bacteriochlorophyll fluorometer. PHOTOSYNTHESIS RESEARCH 105:(1) pp. 73-82. (2010)
<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/kbf/>
- [G14] Asztalos E, **Gingl Z**, Maróti P, Field instrument for determination of the photosynthetic capacity of intact photosynthetic bacteria. EUROPEAN BIOPHYSICS JOURNAL 40:(Supplement 1) p. 174. (2011)
- [G15] Kopasz K, Makra P, **Gingl Z**, Edaq530: a transparent, open-end and open-source measurement solution in natural science education. EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS 32: pp. 491-504. (2011),
<http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/achievements/EDAQ530/>
- [G16] **Gingl Z**, Makra P, Kopasz K, Thumb-size USB-to-sensor interface supports efficient experimentation in multilevel education of physics and other disciplines. EUPEN's 12th General Forum - EGF2010, "NEW WAYS OF TEACHING PHYSICS", Paris (France): 2-5 September (2010)
- [G17] Csirik J, **Gingl Z**, Griechisch E, The effect of training data selection and sampling time intervals on signature verification. In: First International Workshop on Automated Forensic Handwriting Analysis (AFHA 2011). Beijing, China, 17/09/2011-18/09/2011.
- [G18] Bunke Horst, Csirik János, **Gingl Zoltán**, Griechisch Erika, Online Signature Verification Method Based on the Acceleration Signals of Handwriting Samples. LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE 7042: pp. 499-506. (2011)
- [G19] **Gingl Z**, Fabricate a high-resolution sensor-to-USB interface. EDN 56:(22) pp. 54-57. (2011), <http://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/edaq24/>

- [G20] **Gingl Z** and Kocsis P, Measure resistance and temperature with a sound card. EDN 56:(10) pp. 58-59. (2011)
- [G21] **Gingl Z**, A photoplethysmograph experiment for microcontroller labs. INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION 49: pp. 1-19. (2012), in press
- [G22] Kish LB, Bezrukov SM, Khatri SP, **Gingl Z**, Sethuraman S, Noise-Based Logic and Computing: From Boolean Logic Gates to Brain Circuitry and Its Possible Hardware Realization. In: Peper F, Umeo H, Matsui N, Isokawa T (ed.) Natural Computing, Proceedings in Information and Communications Technology. Himeji, Japan, 2009.09.22-2009.09.26.
- [G23] Kish LB, Khatri S, Bezrukov S, Peper F, **Gingl Z**, Horvath T, Noise-based information processing: Noise-based logic and computing: What do we have so far? In: Deen MJ, Kasap S (ed.) Proceedings of the 21st International Conference on Noise and Fluctuations. Toronto, Canada, 2011.06.12-2011.06.16. IEEE, pp. 28-33.(ISBN:978-1-4577-0189-4)
- [G24] Kish LB, Khatri SP, Bezrukov SM, Peper F, **Gingl Z**, Horvath T, Noise-based deterministic logic and computing: a brief survey. INTERNATIONAL JOURNAL OF UNCONVENTIONAL COMPUTING 7:(1-2) pp. 101-113. (2011)
- [G25] **Gingl Z**, Kish LB, Khatri SP, Towards brain-inspired computing. FLUCTUATION AND NOISE LETTERS 9:(4) pp. 403-412. (2010)