

**Szegedi Tudományegyetem  
Informatika Doktori Iskola**

# **Hardver és szoftver együttes fejlesztése hang és videó adatok gyűjtéséhez és elemzéséhez**

Doktori értekezés tézisei

**Kalmár György**

Témavezető:

**Dr. Nyúl László**



**Szeged  
2020**



# 1. Bevezetés

Az adatelemzés feladata az adatban rejlő mintázatok algoritmikus felismerése. Az adat azonban sokrétű lehet és a mintafelismerési feladatok közé sok terület sorolható, mint például a jelfeldolgozás, a képanalízis vagy a beszédfelismerés. Ezen adatelemző eljárások kulcseleme az adat, amin tanítva és tesztelve vannak, és amelynek minősége alapvetően meghatározza az eredmények pontosságát. Fontos tényezők az adatpontok száma és megfelelő eloszlása, illetve zajosságuk. Amennyire jó az adat, olyan pontosak lehetnek az eljárások.

Az alacsony szintű, hardverrel kapcsolatos változtatások sokszor nem kívánatosak az adatgyűjtő és -elemző rendszerekben, mivel ezek általában a szoftver módosítását is magukkal vonják. Azonban, ha a hardver okozta hibák befolyásolják az adatminőséget, akkor még a magas szintű adatelemzési módszerek is érintettek. Kifinomult algoritmusokkal némileg kiküszöbölhetők ezek a hátrányok, de a számítási kapacitás felhasználása a rendellenességek javítására idő és energia pazarlás, amely "erőforrások" például erősen korlátozottak beágyazott rendszerekben. Sokszor olyan szakaszba érkezik egy alkalmazás, ahol a további szoftveroptimalizálás minimális javulást kínál a fejlesztéshez szükséges költségekhez és időhöz képest. A zajos, alacsony minőségű adatok javíthatók, de csak korlátozásokkal. Ezekben az esetekben még az egyszerű hardver szintű változtatások vagy kiegészítések is jobb adatminőséget és új elemzési irányokat eredményezhetnek. Ezt a megfontolást alkalmaztam a Ph.D. munkám során.

A doktori értekezés adatelemző alkalmazásokat ismertet, magába foglalva alacsony szintű hangfelismerő és magas szintű képfeldolgozó eljárásokat. A bemutatott megközelítések közös vonása, hogy hardver-közeli vagy hardvert érintő változtatások véghezvitele és a kapcsolódó szoftverek ezeket kihasználó együttes fejlesztése járult hozzá ahhoz, hogy az alkalmazások lehetségessé, egyszerűbbé vagy pontosabbá váltak.

A munka három fő témakörből áll. A 2. fejezetben egy állatok által hordozható akusztikus lövésdetektort mutattam be, amelynek alkalmazhatóságát egy újszerű ébredési mechanizmussal tettem lehetővé. Hasonlóan, hangfelismerés témában végzett kutatásaimat ismertettem a 3. fejezetben, amelyben megvizsgáltam a hangszórók mikrofonként való alkalmazhatóságát, amit egy egyszerű kiegészítő hardver tesz lehetővé. Az utolsó, 4. fejezetben egy videófeldolgozási alkalmazást mutattam be, amely automatizálta és javította patkányok pupillometriai vizsgálatait, ezzel támogatva egy szkizofréniával kapcsolatos orvosi kutatást.

# 2. Hordozható lövésdetektor rendszer

Az orvvadászat kiemelt helyen szerepel a biológiai sokféleséget romboló jelenségek listáján. Visszaszorítására a klasszikus bűnüldözés módszereit alkalmazzák, azonban, a vadvilág vadászata távoli, elhagyatott területeken történik, ahol nincs emberi jelenlét, így a támadások észlelése nehéz. Továbbá, a nagytestű állatok orvvadászata militarizált és globális bünszervezetek által támogatott. A helyi vadvédelmi szervek túlterheltek és tehetetlenek a bűnüldözési eszközök hiánya és a nagy területeken élő vadállomány monitorozásának nehézsége miatt. Fontos tehát az olyan technológiák fejlesztése, amelyek elősegítik a távoli vadvédelmet. Napjainkban egy ígéretes irány az állatok által hordozható

eszközök, mint például a GPS nyomkövető nyakörvek alkalmazása, amelyek lehetségessé teszik az állatok valós idejű követését.

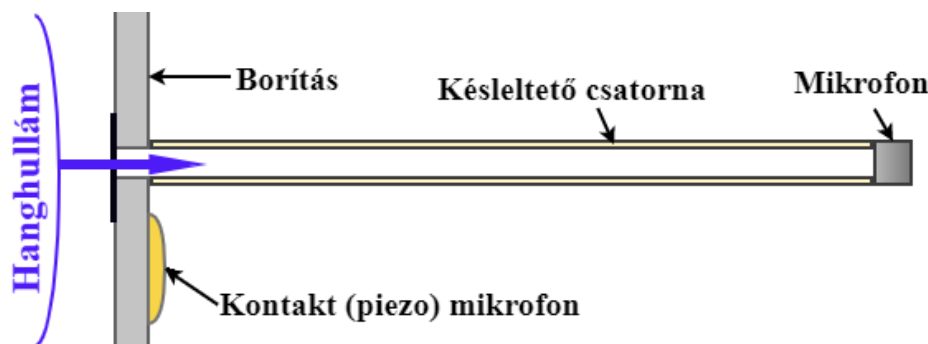
A disszertáció 2. fejezetében egy, az állatok által hordozható akusztikus lövésdetektor rendszert mutattam be, amely kiegészíti a jelenleg elterjedt GPS nyomkövető nyakörvek funkcionalitását. A két rendszer ötvöztetésével valós idejű lövésriasztások küldhetők helyinformációval is kiegészítve. Több kihívást is meg kellett oldanunk. Ezek a többéves üzemidő, a lövedék lökeshullámának jó minőségű rögzítése és a hibás detektálások számának minimalizálása.

## 2.1. Egy újszerű ébredési mechanizmus

Az akusztikus lövésdetektálás egy mintázatfelismerési feladat, amely megkívánja a környezeti hangok folyamatos rögzítését és feldolgozását. Egy puska elsütésekor két hangesemény jelentkezik és mindkettő rögzíthető mikrofonnal. A torkolati dörej a lövedék hajtótöltetének robbanásából származik és a puska csövében keletkezik. A másik hangesemény egy lökeshullám, amit a hangsebesség felett haladó lövedék kelt. Ez a lökeshullám egy egyedi akusztikus jelenség, időtartománybeli alakja az  $N$  betűre hasonlít, mikroszekundum alatti impulzív emelkedési szakaszokkal rendelkezik és a jel teljes hossza néhány száz mikroszekundum. Ezen tulajdonságai a lökeshullámot ideális detektálandó célponttá teszik a hordozható lövésdetektor rendszerben.

A hordozható lövésdetektor rendszerekben az ultraalacsony fogyasztás és a lökeshullámok jó minőségű rögzítése együttesen fontos. Mindkét követelmény kielégítésére egy újszerű ébredési mechanizmust fejlesztettem ki. Ez egy akusztikus késleltető csatornán alapuló struktúrát használ, ami az 1. ábrán látható. A megoldásban két mikrofon kap szerepet: egy kontakt és egy hagyományos elektret mikrofon. A kontakt mikrofon egy olyan komponens, amely a hordozó felületének vibrációit feszültséggé alakítja, kihasználva a piezoelektromos hatást. Esetünkben ez a mikrofon a hangdetektor modul burkolatának falára van erősítve. A másik, hagyományos mikrofon egy 3.5 cm hosszúságú cső végén helyezkedik el. Ez a cső, mint egy akusztikus hullámvezető és hangszigetelő elvezeti a beérkező hanghullámokat az elektret mikrofonhoz.

Az ötlet a bemutatott struktúra mögött az, hogy felébresztjük az adatgyűjtő rendszert a mélyalvó állapotából akkor, amikor a hanghullámok elérik a borítás falát és késleltetjük ezen hangokat az akusztikus késleltető csatornában annyival, hogy az adatgyűjtő rendszer felkészülhessen a mintavételezésre. Ez azért lehetséges, mert a hang- és fénysebesség közt



1. ábra. A javasolt akusztikus késleltető csatorna struktúra.

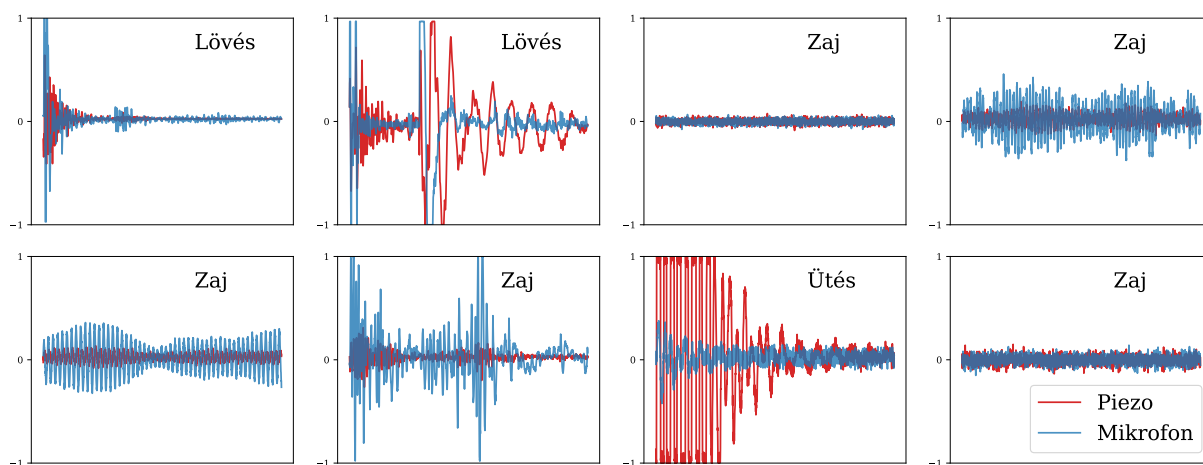
óriási a különbség, és a kontakt mikrofon által keltett feszültség-jel utóbbival terjed. Ezzel az ébredési mechanizmussal a rendszer fogyasztása 88%-kal csökkent egy hagyományos megoldáshoz viszonyítva.

## 2.2. Alkalmazás GPS nyomkövető nyakörvekben

A javasolt lövésdetektor rendszer többéves üzemidővel rendelkezik egyetlen elem felhasználásával is, ami ideálissá teszi alkalmazását hordozható rendszerekben. Hardverét és szoftverét ezért optimalizáltam úgy, hogy beépíthető legyen elterjedt GPS nyomkövető nyakörvekbe, amelyeket elefántokon használnak. Az elefántok erejét figyelembe véve könnyen belátható, hogy egy akusztikus rendszer védelme nem egyszerű feladat. A burkolatnak erősnek és vastagnak kell lennie, hogy túlélje a szenzor modul várható időtartamát. Ezen célra egy acél dobozt, vastag műanyag tetőt és az ezeket kitöltő gyantát használnak, amelyek erős védelmet adnak, de egyidőben jelentősen csökkentik a felvehető hang minőségét a dobozon belül. Ennek kiküszöbölésére egy kis lyukat fúrtunk a doboz falába, amin a hang könnyen bejuthat. A vízhatlanság érdekében a lyukat vízálló szövetrel takartuk be.

A már létező védő burkolat méretei adottak voltak. Ezen belül a modulunkat a falra erősítettük egy kompakt szenzor- és mikrofontartó egységgel, amelyet úgy terveztem, hogy 3D nyomtatható legyen egy félkemény gumis anyagból. A tartóegység legfontosabb funkciója a belé ágyazott akusztikus hullámkésleltető csatorna. Egy 3.5 cm hosszú és 3 mm átmérőjű cső, éles kanyarodásoktól és élektől mentes útvonalon kanyarog a tartón belül, összekötve a falon lévő lyukat és az elektret mikrofont. Ez a csavart elrendezés a felére csökkenti a tartó nagyságát a cső hosszához képest. A tartó falhoz közeli oldala pedig a kontakt mikrofont nyomja hozzá a burkolat fém felületéhez.

A javasolt rendszer első prototípusát egy kenyai vadonélő elefántra helyeztük fel. Emellett, a rendszer kiértékeléséhez valós, kontrollált kísérleteket is végeztünk. Egy akusztikus eseményekből álló adathalmazt gyűjtöttünk a szenzorunkkal, amely különböző természeti zajokat, ütődésből származó hangokat és valós lövéseket is tartalmazott. Ezek közül mutat néhány példát a 2. ábra.



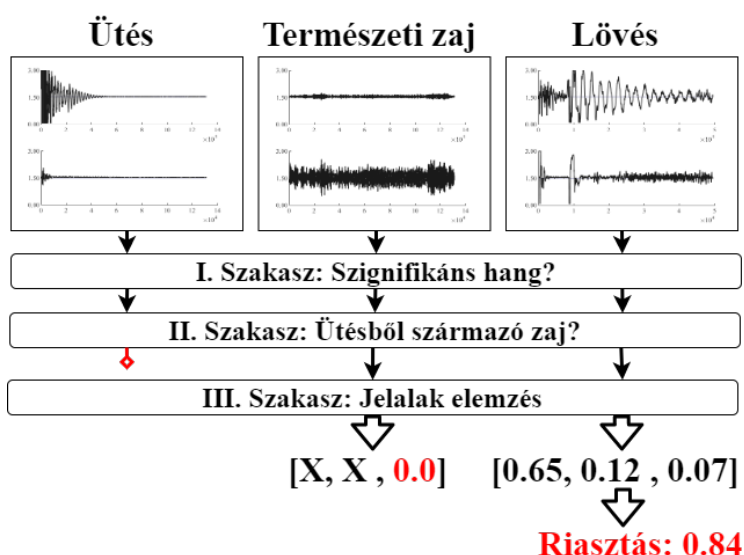
**2. ábra.** Példa felvételek, amelyeket az akusztikus késleltető csatornán keresztül rögzítettünk. Ez a struktúra kettő, egymástól egy csővel elválasztott mikrofont használ.

## 2.3. Lövésdetektálás

Miután egy akusztikus esemény történt, a rendszer  $100\ \mu\text{s}$ -on belül megkezdí a rögzítést és egy gyors, közel valós idejű döntés szükséges, mivel a detektor modul rongálódása jelentős kockázat, hiszen az orrvadászok megpróbálhatják azt kiiktatni. Emiatt a feldolgozási idő korlátozott, ami hangsúlyozza egyszerű algoritmusok használatát. Továbbá, az erőforrásokban szegény beágyazott rendszer is ezen irányba mutat.

Az javasolt lövésdetektornak három szakasza van, ahogy a 3. ábrán látható. Az első szakasz valós időben fut és a hamis ébredések kiszűrését végzi. A második szakasz egy két-tartománybeli szűrést végez és offline fut a rögzítést követően. Fő feladata az ütődésekből származó hangesemények detektálása. A két mikrofon alkalmazása különböző karakterisztikákkal egyszerűvé teszi ezt a lépést. Amikor ugyanis egy ütődés éri a szenzor burkolatát, a kontakt mikrofon jele túlvezéreltté válik, az elektret mikrofonból származó jel pedig alacsony intenzitású marad. Fordított esetben viszont, amikor hangesemény éri el a rendszert, az elektret mikrofon jele hangsúlyosabb, ugyanis a beérkező akusztikus hullámok energiájának csak kis része alakul rezgéssé. A detektor harmadik szakasza végzi a bonyolult jel-analízist, amely elsősorban a lökeshullámok felismerésén alapul. Implementáltam további, a torkolat dörejt detektáló és más szűrő metódusokat is, amelyek csak megerősíthetik a lökeshullám detektálásokat, de magukban nem eredményeznek riasztást. A 3. ábrán néhány példa felvétel is szerepel: egy ütés, egy természeti zaj és egy lövés hangjai. Az ábra bemutatja a példa események terjedését a detektor egyes szakaszain keresztül.

A javasolt lövésdetektor algoritmus jó eredményt ért el az összeállított akusztikus esemény adathalmazon, ugyanis minden lövés detektálásra került és egyetlen fals riasztás sem keletkezett. Munkámban, továbbá, adatvezérelt módszereket is vizsgáltam és kifejlesztettem egy véletlenszerűsített architektúra-kereső algoritmust, amely legenerált és betanított 1D és 2D konvolúciós neurális hálózatokat lövésdetektálásra és összehasonlította azokat.



**3. ábra.** A javasolt lövésdetektor algoritmus három szakaszból álló felépítése és működése minta felvételeken. Az ábra felső részén látható felvételekből a fentiek a kontakt, még az alsók az elektret mikrofon jelét mutatják.

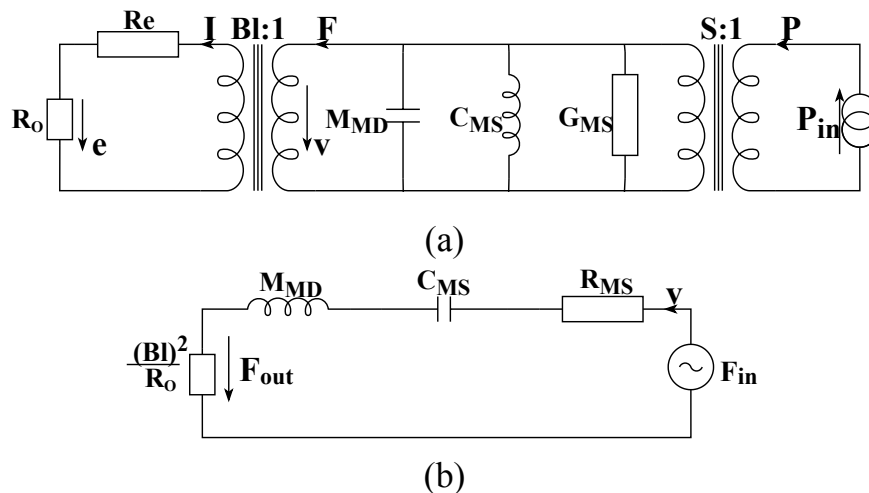
### 3. Hangszórók hangrögzítőkként való alkalmazása

A hangszóró egy elektroakusztikus átalakító, amely az elektromos jeleket hanggá alakítja. Legelterjedtebb változata a dinamikus hangszóró, amely úgy állít elő hangot, hogy egy lengő tekercshez erősített könnyű membránt rezget nagy sebességgel oda-vissza. Azonban közismert, hogy a hangszórók képesek a hangok érzékelésére is, amely mikrofonszerű viselkedésre a továbbiakban fordított üzemmódként hivatkozok. Ez a fordított működés hasonló a dinamikus mikrofonok működési elvéhez. A beérkező hanghullámok erőt fejtenek ki a hangszóró membrán felületére, amely ettől lengeni kezd és magával mozgatja a hozzá erősített tekercset is egy mágneses térben. Mivel a tekercsen keresztül a mágneses mező fluktuálódik, elektromotoros erő indukálódik, amely feszültségkülönbséget épít fel a tekercs termináljai között. Ez a változó feszültség reprezentálja a beérkező hangot az elektromos tartományban.

A javasolt ötlet a disszertáció 3. fejezetében a fordított üzemmódú hangszórók alkalmazása volt akusztikus eseménydetektálási feladatokban. Az ezt lehetségessé tévő hardver kiegészítés minimális és implementálható egy egyszerű beágyazott rendszer segítségével. Ez a rendszer biztosítja az eredeti hangsugárzó viselkedést, de további, mikrofonszerű funkciót is kínál. Például, hasonlóan kiegészített hangszórók alkalmazhatók lennének biztonsági rendszerekben, ahol a gyanús hangesemények detektálása fontos feladat.

#### 3.1. Elméleti analízis

Kutatásomat a fordított üzemmóddal kapcsolatban elméleti modellezéssel kezdtem. Meghatároztam egy ekvivalens mechanikai helyettesítő kapcsolást és levezettem a fordított üzemmód átviteli függvényét, amely a hangszórók publikált paramétereiből számítható.



**4. ábra.** A fordított üzemmód ekvivalens helyettesítő kapcsolásai. Az (a) ábrán virtuális transzformátorok reprezentálják a mechanikai erő és elektromos jel generálási lépéseket, a jel-forrás pedig az akusztikus tartományban található. Az elektromos kimeneti jel az  $R_o$  ellenálláson keletkezik. A (b) ábrán a kapcsolat egyszerűsített változatát mutatja, miután a virtuális transzformátorok eliminálásra kerültek. A komponensek a mechanikai tartományba transzformáltak és mechanikai impedanciában kifejezettek.

Az ekvivalens kapcsolás és ennek egyszerűsített formája a 4. ábrán látható. Az átviteli függvény analízise megmutatta, hogy a fordított üzemmódú hangszórók rendelkeznek egy magasabb érzékenységgű frekvencia zónával a rezonanciafrekvenciájuk környezetében. Valós mérések pedig demonstrálták, hogy ez az érzékenység elégséges akusztikus események kellő minőségű rögzítéséhez.

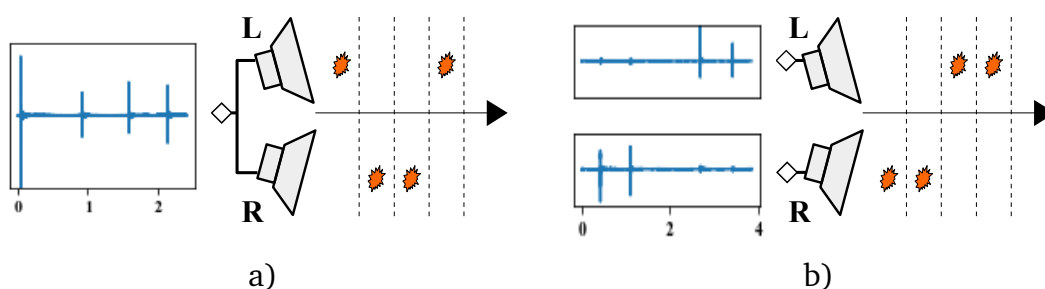
Miután megmutattam, hogy képesek hangokat kielégítő minőségben rögzíteni, megvizsgáltam a fordított üzemmódú hangszórók teljesítményét akusztikus eseménydetektálási feladatokban. Szimulációs kísérleteket végeztem, amelyeket a hangszórók átviteli függvényére alapoztam. Ezek a kísérletek hangszórók válaszait szimulálták mikrofonnal felvett hangeseményekre és osztályozó eljárásokat futtattak ezeken, hogy kimutassák a fordított üzemmód által okozott információvesztés hatásait.

A szimulációk mikrofonok által rögzített hangfájlokat alakították át olyan formába, mintha azokat egy adott, fordított üzemmódú hangszóró rögzítette volna. Miután egy teljes hangadatbázist transzformáltam ezzel a módszerrel, ki tudtam emelni a hangszórók erősségeit és gyenge pontjait azáltal, hogy elemeztem a transzformált adaton tanított neurális hálózat alapú hangesemény-osztályozók teljesítményeit. Az osztályozási eredményekből kiolvasható volt, hogy hangszórók használhatók akusztikus eseménydetektálásra, azonban az események típusa és jellege korlátozott. Például, megbízható beszédfelismerés nehezen lenne kivitelezhető érdemi távolságokból a beszéd alacsony hangnyomásszintje és a hangszórók alacsony érzékenysége miatt. Ugyanakkor, a hangos, impulzív események, mint például a sikolyok, lövések vagy robbanások detektálása nagy pontossággal végezhető lenne. Ezek a megfigyelések magyarázhatók is az elméleti modellezésből származó megállapításokkal. A fordított üzemmód érzékenysége alacsony a rezonanciafrekvenciához távolabb eső frekvenciákon, emiatt a hangos eseményekből több információ őrződik meg. Továbbá, az impulzív eseményeknek széles spektrumuk van, így legalább a rezonanciafrekvenciához közeli frekvencia-komponensek jó minőséggel rögzíthetők.

### 3.2. Hasznosítási lehetőségek

A fordított módú hangszórók hasznosítása olyan területeken érdekes, ahol már előre telepített eszközök állnak rendelkezésre és egy egyszerű hardver kiegészítéssel új funkciók válnának lehetővé. Például, ha egy épület több elosztott, de összekötött hangszórót tartalmaz, amelyeket egy központi egység vezérel, a teljes terület lefedhető egy egyszerű eszköz telepítésével, amely a közös vezérlő vezetéket figyeli. Hasonló konfigurációkat alkalmaznak kórházakban, állomásokon vagy iskolákban, ahol a hangszórókat rövid közlemények bemondására használják, amelyek közt az inaktív hangszórók eseménydetektálásra használhatók lennének. Az 5. ábrán két hasonló példa konfiguráció és néhány rögzített esemény figyelhető meg. Egy másik hasznosítási irány az okostelefonokban való alkalmazás, melyek legalább két hangszóróval és egy mikrofonnal rendelkeznek. Ezekben az integrált eszközökben minden új komponens beépítése óriási költséggel jár, azonban a már rendelkezésre álló hangszórók kihasználtsága maximalizálható lenne a fordított módú jelek rögzítésével. Ezzel a módosítással a telefonoknak három hangrögzítő csatornájuk is lenne, így komplex hangalapú lokalizációs feladatok is megoldhatóvá válnának.

A potenciális irányok bemutatására kifejlesztettem és megvalósítottam egy hangalapú detektort, amely a fordított üzemmódú funkcionalitást használja ki, és demonstráltam használatát egy egyszerű, adatvezérelt tapsdetektorban.



**5. ábra.** Lehetséges fordított üzemmód konfigurációk akusztikus eseménydetektálásra. Az (a) ábrán a hangszórók egy közös, amíg a (b) ábrán két külön vonalra generálják a fordított módú jeleiket. A kísérletek során négy taps hangzott el a hangszórókhoz képest különböző relatív pozíciókkal.

### 3.3. Aktív fordított üzemmód

Az előzőekben említett alkalmazásokban a hangszórók inaktívak voltak, vagyis a hangrögzítés idejére a meghajtó egységük tétlen volt. Az ötlet pedig ezen inaktív időszakok hasznosítása volt. Azonban a disszertáció foglalkozik az ún. aktív fordított üzemmód elemzésével is, amely módban a hangszórók akusztikus esemény detektálásra is alkalmazhatók, miközben aktívan sugároznak. Ez a mód azért érdekes, mert sűrűn előfordul nyilvános helyeken (üzletekben, kávézókban, éttermekben, plázákban stb.), ahol alacsony hangerősségű zenét folyamatosan játszanak területileg jól elosztott hangszórókból. Ezek a helyek sokszor színhelyei is erőszakos cselekedeteknek vagy terrortámadásoknak.

Az aktív fordított mód során a hangszóró aktívan végez hangsugárzást, amivel egy időben külső hanghullámok és érik membránját. Ebben az esetben a meghajtó és fordított módú elektromos jelek összege jelenik meg a vezérlő vonalon, amely jelenség a meghajtó és fordított módú mechanikai erők szuperpozíciójával magyarázható, amik egy időben hatnak a membránra. Munkámban vizsgáltam ezt az érdekes módot és lehetőségeit, amely során elméleti modellezést és elemzést végeztem, illetve kísérleteket mutattam be.

## 4. Automatizált pupillometria

A pupillometria egy régóta alkalmazott módszer a pupilla fényre való reakciójának objektív elemzésére. A hagyományos pupillometriai vizsgálatok során videón rögzítik a pupilla fényreflexet, vagyis a pupilla szűkülését fény hatására, és utána, a pupilla átmérőjét minden képkockán lemérik, ezzel előáll a pupillogram. A pupillaátmérő mérése minden képkockán egy manuális címkéző szoftverrel időigényes és nem reprodukálható, főleg, ha a videók száma nagy. A számítógépes algoritmusok azonban gyorsabb, pontosabb és megismételhető megoldást nyújthatnak. Az értekezés 4. fejezetében egy pupillometriai alkalmazás automatizálása került bemutatásra.

A kapcsolódó orvosi kutatás célja felfedni a szkizofrénia objektíven detektálható hatásait az idegrendszerre egy patkány állatmodellben azáltal, hogy összehasonlítja egészséges és szkizofrén tüneteket mutató patkányok pupillogram görbéit. A hasonló állatmodellek fejlesztése és vizsgálata nagy fontosságú a komplex mentális betegségek megértése során.

## 4.1. Pupillometria klasszikus algoritmusokkal

A pupillometriai állatkísérleteket egy sötét laborban folytatták, így a patkányok pupillája nagyra tágult. A helyiséget infravörös fénnel világították meg, amely az állatok számára láthatatlan, de egy infravörös kamerával a jelenet rögzíthető. A kísérletek során a patkányokat kézzel fogták egy asztalon, miközben egy rövid látható fény impulzust villantottak a szemükbe, ezzel előidézve a fényreflex válaszütemet. A kamerát a kísérlet előtt megfelelően közel pozícionálták a vizsgált szemhez, hogy rögzíthesse ezt a reakciót.

A videóknak sok minőségbeli problémájuk volt. Az állatok légzése és kisebb mozgásai elmosódásokat eredményeztek a közel helyezett kamera miatt. Továbbá, a patkányok albínók, piros szemekkel, ami csökkent kontrasztot jelent a pupilla és írisz régiók közt. A gyenge megvilágítás nagy ISO érték használatát kívánt meg, ami viszont erős zajhoz vezetett. A megvilágító LED-ek tükröződései a szemben és más belső entitások a pupilla nagy részét kitakarták, sokszor közel lehetetlenné téve annak detektálását. Ezen kihívások leküzdésére és a pupilla pontos mérésére egy újszerű, sugárterjedésen alapuló, energiaelnyelési modellt használó képfeldolgozó eljárást javasoltam. Az algoritmus képes volt a finom kontraszt különbségeket megtalálni a pupilla határán, ugyanakkor ellenálló volt a zajjal, a kitakarásokkal szemben és jó eredményeket szolgáltatott elmosódott videókon is.

A javasolt megoldás a sugárterjedés fizikájából vett ötleteket és fogalmakat alkalmazta. A sugarak rendelkeznek egy kezdeti energiával, amit a közeg a terjedésük folyamán fokozatosan elnyel. Az elnyelt energia arányos ezen közeg csillapítási együtthatójával. Ezek alapján a módszer az, hogy sugározzunk egy pontból minden irányban és használjuk a környező pixelek intenzitását a csillapítási tényezők mérőszámaiként. Az algoritmus végigköveti a sugarak útját, ahogy azok terjednek a képen, majd az energiavesztésgörbéket használja arra, hogy a környező régiók struktúráját megismerje. Ez az algoritmus szolgáltatja a pupilla körvonalának becsült pontjait, amelyekre szűrést követően ellipszist is illesztett, majd egy becsült pupilla átmérőt állított elő. Az eljárást 20 kézzel címkézett videón értékeltem ki, amelyeken alacsony, 2% átlagos relatív pupilla átmérő hibát ért el.

A videókat a javasolt pupillamérő eljárással feldolgoztam, ami előállította a megfelelő pupillogramokat. Hogy összehasonlíthassuk az egészséges és beteg állatok reakcióit, ezen válaszgörbékéből jellemzőket nyertem ki. Az előállított jellemzők élettani szempontból relevánsak voltak és alkalmasak arra is, hogy kihangsúlyozzák a két állatcsoport autonóm idegrendszerének aktivitásbeli eltéréseit. A jellemzők kinyerését egy automatizált eljárás fejlesztésével támogattam, amely 40 jellemzőt tudott kinyerni egy pupillogramból. Ugyancsak hozzájárulásom volt újszerű, a reakciók dinamikáját és simaságát leíró jellemzők bevezetése. A kinyert jellemzőkön adatalemzést végeztünk és ebből származó eredményeinket egy orvosi szakfolyóiratban tettük közzé, amelyben a szkizofréniának a pupilla fényreflexre gyakorolt hatásait mutattuk be a vizsgált patkány modellben [2].

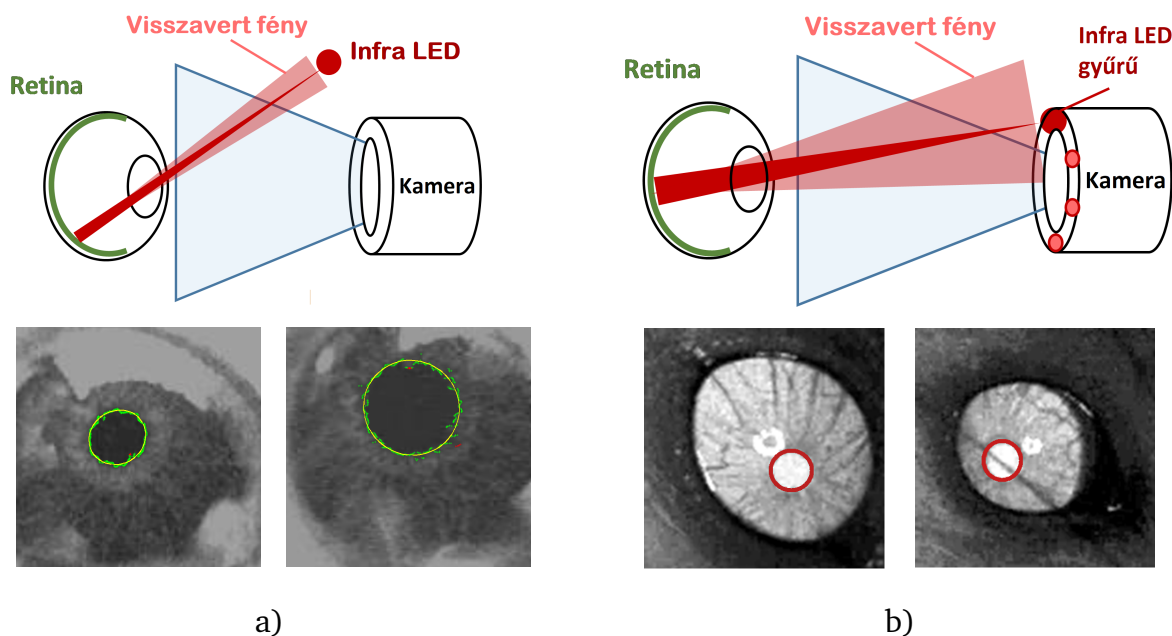
## 4.2. Továbbfejlesztett pupillometria

Az automatizált pupillometriai vizsgálatok jelentős orvosi eredményekhez vezettek a szkizofréniái kutatások terén. Ugyanakkor, a kísérletek rögzítési módszere robusztussági és videó minőségbeli korlátokat szabott. Sok kísérletet meg kellett ismételni és ugyancsak sok videót ki kellett hagyni a feldolgozásból. A kísérletek robusztusságának növelése érdekében a felvételi eljárásmodot újraterveztem. Egy infravörös LED gyűrűt erősítettem a

kamera lencséje köré, ezzel a megvilágító forrást és a kamera optikai tengelyét közel azonos tengelyre helyeztem. A változtatással a retináról visszavert infravörös fény a kamerába érkezett, előidézve a pupilla fehéren ragyogását a rögzített képen. A pupilla ugyanis, mint egy kis ablak átengedi a beérkező és a retináról visszavert fényt, még a szem többi struktúrája szórja azt, ezáltal előbbi világít, utóbbiak pedig sötétek maradnak a képen. Ez az effektus lényegesen javította a jel-zaj viszonyt és ezzel a pupilla detektálhatóságát is. Továbbá, az új konfiguráció lehetővé tette a kamera távolabbra helyezését a szemtől, így az állat kis mozgulatai nem okoztak jelentős minőségbeli romlást.

Az új konfigurációval felvett videók teljesen más jelleggel rendelkeztek, így a korábban leírt eljárás nem volt alkalmas feldolgozásukra. Azonban a javított videóminőség egyszerűsítette a pupilla szegmentálási feladatot, így reális mennyiségű adat elegendő volt egy adatvezérelt eljárás tanításához. A neurális hálózatok modern megoldást kínálnak szegmentálási feladatok megoldására, elsősorban a teljesen-konvolúciós hálózatok elterjedtek hasonló alkalmazásokban. A pupilla szegmentálási feladat megoldására egy elterjedt U-alakú modell struktúrát használtam, amelyet az általunk kézzel felcímkézett adathalmazon tanítottam be. A tesztképeken az átmérő becslő 96%-os medián pontosságot ért el, a képkockák feldolgozási sebessége pedig relevánsan javult.

Az összehasonlítás az eredeti és megújított kísérleti elrendezések közt, és néhány feldolgozott képkocka közt a 6. ábrán látható.



**6. ábra.** Összehasonlítás az eredeti (a) és a megújított (b) pupillometriai kísérleti elrendezések között. A magasabb videóminőség megfigyelhető a (b) ábrán. Az (a) esetben egy újszerű képfeldolgozó eljárás, amíg (b) esetén egy konvolúciós neurális hálózat szegmentálta a pupilla régiókat.

## A disszertáció tézisei

Az **első téziscsoportban** a hozzájárulásaim egy ultra-alacsony fogyasztású lövésdetektorhoz kapcsolódnak. A részletes bemutatás a disszertáció 2. fejezetében található.

- I/1. Javasoltam egy újszerű akusztikus késleltető csatorna alapú ébredési mechanizmust, amelyhez elkészítettem egy kísérleti hardvert is, továbbá megmutattam, hogy használatával javítható a hangalapú eseménydetektorok energiahatékonysága.
- I/2. Megterveztem és megvalósítottam egy, a javasolt ébredési mechanizmust alkalmazó beágyazott lövésdetektor-modul hardver- és szoftver-rendszerét, ami integrálható elterjedt GPS nyomkövető nyakörvekbe.
- I/3. Kifejlesztettem egy újszerű lövésdetektor algoritmust, amely kihasználja a javasolt ébredési mechanizmusból származó kétféle hanginformációt, és valós kísérletekkel vizsgáltam a pontosságát és hatékonyságát.
- I/4. Kifejlesztettem egy véletlenszerűsített architektúra-kereső algoritmust, amely legerált, betanított és összehasonlított 1D és 2D konvolúciós neurális hálózatokat, amelyek a kétféle hanginformációt használják lövésdetektálásra.

A **második téziscsoport** a hangszórók mikrofonszerű módjának (ún. fordított üzemmód) elméleti analíziséhez és alkalmazási lehetőségeiknek vizsgálatához kapcsolódik. A részletes bemutatás az értekezés 3. fejezetében található.

- II/1. Javasoltam hangszórók alkalmazását akusztikus eseménydetektálási feladatokra, kihasználva a fordított üzemmódjukat. Elvégeztem a fordított üzemmód elméleti modellezését és elemzését, amit valós kísérletekkel is alátámasztottam.
- II/2. Megvizsgáltam szimulációs módszerekkel a fordított üzemmódú hangszórók alkalmazhatóságát akusztikus eseménydetektálási feladatokban.
- II/3. Megterveztem és megvalósítottam egy, a hangszórók fordított üzemmódján alapuló beágyazott akusztikus eseménydetektor modult, amely használatát egy egyszerű, adatvezérelt tapsdetektorral is demonstráltam.
- II/4. Vizsgáltam a hangszórók ún. aktív fordított üzemmódját elméleti modellezéssel és elemzéssel, valamint néhány kísérlettel, melyekben a hangszórók akusztikus esemény detektálásra is alkalmazhatók, miközben aktívan sugároznak.

A **harmadik téziscsoport** hozzájárulásai egy pupillometriai alkalmazás automatizálásához és az ehhez szükséges képfeldolgozó eljárásokhoz kapcsolódnak. Részletes bemutatás a disszertáció 4. fejezetében található.

- III/1. Kidolgoztam és kiértékeltem egy energia-elnyelődésen alapuló modellt használó algoritmust pupillaátmérő mérésére, implemetáltam egy automatizált jellemzőkinyerő eljárást, továbbá bevezettem újszerű pupillogram jellemzőket.
- III/2. Újraterveztem a korábban használt pupillometriai kísérleti eljárásmodot egy, a kamerát érintő hardver kiegészítéssel, amely jobb minőségű videókat eredményezett, ezáltal támogatja a robusztusabb és hatékonyabb kísérletezést.
- III/3. Betanítottam egy teljesen-konvolúciós neurális hálózatot pupilla szegmentálásra, amely hatékonyan feldolgozza az új kísérleti összeállítással rögzített videókat.

A 1. táblázatban összegeztem a kutatásomból származó közlemények és az egyes tézispontok kapcsolatát.

**1. táblázat.** A közlemények és a tézispontok kapcsolata.

Közlemény	Tézispont										
	I/1	I/2	I/3	I/4	II/1	II/2	II/3	II/4	III/1	III/2	III/3
[1]									•		
[3]										•	•
[4]					•		•	•			
[5]	•	•	•	•							
[6]					•	•					
[7]						•	•				

## A szerzőnek a disszertáció témájában megjelent közleményei

### Folyóiratcikkek

- [1] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image Processing-based Automatic Pupillometry on Infrared Videos. *Acta Cybernetica*, 23(2), 599-613, 2017.
- [2] A. Büki, **G. Kalmár**, G. Kékesi, G. Benedek, L. G. Nyúl, and G. Horváth. Impaired pupillary control in “schizophrenia-like” WISKET rats. *Autonomic Neuroscience*, vol. 213, 34-42, 2018.
- [3] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Automating, Analyzing and Improving Pupillometry with Machine Learning Algorithms. *Acta Cybernetica*, 24(2), 197-209, 2019.
- [4] **G. Kalmár**. Analysis and Utilization of Reverse Mode Loudspeakers. *IEEE Access*, vol. 8., 66270-66280, 2020.

### Nemzetközi konferencia-kiadványokban megjelent közlemények

- [5] **G. Kalmár**, G. Wittemyer, P. Völgyesi, H.B. Rasmussen, M. Maróti, and Á. Lédeczi. Animal-Borne Anti-Poaching System. *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys '19)*, Association for Computing Machinery, 91-102, 2019.
- [6] **G. Kalmár**. Investigation of Reverse Mode Loudspeaker Performance in Urban Sound Classification. *27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 1-5, 2019.
- [7] **G. Kalmár**. Smart Speaker: Suspicious Event Detection with Reverse Mode Speakers. *42nd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, 509-512, 2019.

## További kapcsolódó publikációk

- [8] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image processing based automatic pupillometry on infrared videos. *The 10th Jubilee Conference of PhD Students in Computer Science (CSCS): Volume of extended abstracts.*, 2016.
- [9] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Feature extraction and classification for pupillary images of rats. *The 11th Jubilee Conference of PhD Students in Computer Science (CSCS): Volume of extended abstracts.*, 2018.
- [10] **Kalmár G.**, Büki A., Kékesi G., Horváth G., and Nyúl L. Pupillametria automatizálása, vizsgálata és javítása gépi tanuló algoritmusokkal. *Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 12. Országos Konferenciája*, 2019.
- [11] **G. Kalmár**, G. Wittemyer, P. Völgyesi, H.B. Rasmussen, M. Maróti, and Á. Lédeczi. Animal-Borne Acoustic Gunshot Detector (poster). *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys '19)*, Association for Computing Machinery, 578-579, 2019.
- [12] A. Büki, **G. Kalmár**, G. Kékesi, G. Benedek, L. G. Nyúl, and G. Horváth. Characterization of pupillary response in “schizophrenia-like” (WISKET) rats. *5th FENS Regional Meeting 2017*, 2017.
- [13] Büki A., **Kalmár G.**, Kékesi G., Nyúl L., és Horváth G.. Autonóm idegrendszeri eltérések vizsgálata transzlációs modellben. *A Magyar Élettani Társaság, a Magyar Kísérletes és klinikai Farmakológiai Társaság és a Magyar Mikrocirkulációs és Vaszikuláris Biológiai Társaság közös Vándorgyűlése*, 2017.
- [14] Büki A., **Kalmár G.**, Kékesi G., Nyúl L., és Horváth G.. A pupilla fényreflex nem-beli különbségeinek vizsgálata patkányban. *Magyar Élettani Társaság 2018. évi Vándorgyűlése : előadás és poszter absztraktok*, 2018.

# Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó “Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis” című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

**A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:**

- III/1. Kidolgozott és kiértékelte egy energia-elnyelődésen alapuló modellt használó algoritmust pupillaátmérő mérésére, implementált egy automatizált jellemzőkinyerő eljárást, továbbá bevezetett újszerű pupillogram jellemzőket.
- III/2. Újratervezte a korábban használt pupillometriai kísérleti eljárásmodot egy, a kamerát érintő hardver kiegészítéssel, amely jobb minőségű videókat eredményezett, ezáltal támogatja a robusztusabb és hatékonyabb kísérletezést.
- III/3. Betanított egy teljesen-konvolúciós neurális hálózatot pupilla szegmentálásra, amely hatékonyan feldolgozza az új kísérleti összeállítással rögzített videókat.

Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használok fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

**A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:**

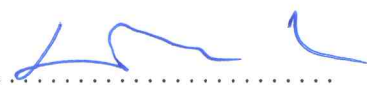
—

## Kapcsolódó publikációk

- [1] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image Processing-based Automatic Pupillometry on Infrared Videos. *Acta Cybernetica*, 23(2), 599-613, 2017.
- [2] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Automating, Analyzing and Improving Pupillometry with Machine Learning Algorithms. *Acta Cybernetica*, 24(2), 197-209, 2019.

Kelt:

*Szeged, 2020.08.24.*



Dr. Nyúl László

## Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó "Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis" című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

**A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:**

- I/1. Javasolt egy újszerű akusztikus késleltető csatorna alapú ébredési mechanizmust, amelyhez elkészített egy kísérleti hardvert is, továbbá megmutatta, hogy használatával javítható a hangalapú eseménydetektorok energiahatékonysága.
- I/2. Megtervezte és megvalósította egy, a javasolt ébredési mechanizmust alkalmazó beágyazott lövésdetektor-modul hardver- és szoftver-rendszerét, ami integrálható elterjedt GPS nyomkövető nyakörvekbe.
- I/3. Kifejlesztett egy újszerű lövésdetektor algoritmust, amely kihasználja a javasolt ébredési mechanizmusból származó kétféle hanginformációt, és valós kísérletekkel vizsgálta a pontosságát és hatékonyságát.
- I/4. Kifejlesztett egy véletlenszerűsített architektúra-kereső algoritmust, amely legenerált, betanított és összehasonlított 1D és 2D konvolúciós neurális hálózatokat, amelyek a kétféle hanginformációt használják lövésdetektálásra.


Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használom fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

**A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:**

### Kapcsolódó publikációk

György Kalmár, George Wittemyer, Péter Völgyesi, Henrik Barner Rasmussen, Miklós Maróti, and Ákos Lédeczi. Animal-borne anti-poaching system. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '19*, page 91–102, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450366618. doi: 10.1145/3307334.3326080. URL <https://doi.org/10.1145/3307334.3326080>

Kelt: 2020. 8/19

  
.....  
Dr. Lédeczi Ákos

## Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó “Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis” című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

**A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:**

- I/1. Javasolt egy újszerű akusztikus késleltető csatorna alapú ébredési mechanizmust, amelyhez elkészített egy kísérleti hardvert is, továbbá megmutatta, hogy használatával javítható a hangalapú eseménydetektorok energiahatékonysága.
- I/2. Megtervezte és megvalósította egy, a javasolt ébredési mechanizmust alkalmazó beágyazott lövésdetektor-modul hardver- és szoftver-rendszerét, ami integrálható elterjedt GPS nyomkövető nyakörvekbe.
- I/3. Kifejlesztett egy újszerű lövésdetektor algoritmust, amely kihasználja a javasolt ébredési mechanizmusból származó kétféle hanginformációt, és valós kísérletekkel vizsgálta a pontosságát és hatékonyságát.
- I/4. Kifejlesztett egy véletlenszerűsített architektúra-kereső algoritmust, amely legenerált, betanított és összehasonlított 1D és 2D konvolúciós neurális hálózatokat, amelyek a kétféle hanginformációt használják lövésdetektálásra.

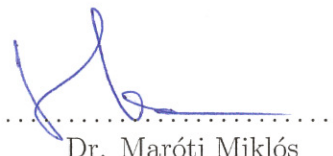
Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használok fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

**A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:**

### Kapcsolódó publikációk

György Kalmár, George Wittemyer, Péter Völgyesi, Henrik Barner Rasmussen, Miklós Maróti, and Ákos Lédeczi. Animal-borne anti-poaching system. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '19, page 91–102, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450366618. doi: 10.1145/3307334.3326080. URL <https://doi.org/10.1145/3307334.3326080>

Kelt: Szeged, 2020 aug. 25

  
Dr. Maróti Miklós

# Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó “Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis” című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

## A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:

- I/1. Javasolt egy újszerű akusztikus késleltető csatorna alapú ébredési mechanizmust, amelyhez elkészített egy kísérleti hardvert is, továbbá megmutatta, hogy használatával javítható a hangalapú eseménydetektorok energiahatékonysága.
- I/2. Megtervezte és megvalósította egy, a javasolt ébredési mechanizmust alkalmazó beágyazott lövésdetektor-modul hardver- és szoftver-rendszerét, ami integrálható elterjedt GPS nyomkövető nyakörvekbe.
- I/3. Kifejlesztett egy újszerű lövésdetektor algoritmust, amely kihasználja a javasolt ébredési mechanizmusból származó kétféle hanginformációt, és valós kísérletekkel vizsgálta a pontosságát és hatékonyságát.
- I/4. Kifejlesztett egy véletlenszerűsített architektúra-kereső algoritmust, amely legenerált, betanított és összehasonlított 1D és 2D konvolúciós neurális hálózatokat, amelyek a kétféle hanginformációt használják lövésdetektálásra.

Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használom fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

## A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:

### Kapcsolódó publikációk

György Kalmár, George Wittemyer, Péter Völgyesi, Henrik Barner Rasmussen, Miklós Maróti, and Ákos Lédeczi. Animal-borne anti-poaching system. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '19, page 91–102, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450366618. doi: 10.1145/3307334.3326080. URL <https://doi.org/10.1145/3307334.3326080>

Kelt: 2020. augusztus 19.



.....  
Völgyesi Péter

## Coauthor's declaration

I hereby certify that I am familiar with the thesis of the applicant Mr. György Kalmár entitled "Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis". Regarding our jointly obtained results that form part of this PhD dissertation, I declare the followings:

**The applicant's contribution was prominent in obtaining the following results:**

- I/1. He proposed a novel acoustic delay line wake-up mechanism, implemented an experimental hardware, and showed that it can improve the power-consumption efficiency of audio event detectors.
- I/2. He designed and implemented the hardware and software of an embedded gunshot detector module that utilizes the proposed wake-up mechanism and can be integrated into widely-used GPS tracking collars.
- I/3. He developed a novel gunshot detector algorithm that employs the two-domain audio information used for the proposed wake-up mechanism, and evaluated its accuracy and efficiency through real-world experiments.
- I/4. He developed a randomized architecture-search algorithm that generated, trained, and compared 1D and 2D convolutional neural networks that utilize the two-domain audio information for gunshot detection.

I did not and will not use these results in getting an academic research degree.

Regarding our joint results referred to in this thesis, the following ones were obtained as the result of indistributable joint contribution by the applicant and myself:

### Related publication:

György Kalmár, George Wittemyer, Péter Völgyesi, Henrik Barner Rasmussen, Miklós Maróti, and Ákos Lédeczi. Animal-borne anti-poaching system. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '19, page 91–102, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450366618. doi: 10.1145/3307334.3326080. URL <https://doi.org/10.1145/3307334.3326080>

Date:

  
.....  
Dr. George Wittemyer

## Coauthor's declaration

I hereby certify that I am familiar with the thesis of the applicant Mr. György Kalmár entitled "Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis". Regarding our jointly obtained results that form part of this PhD dissertation, I declare the followings:

**The applicant's contribution was prominent in obtaining the following results:**

- I/1. He proposed a novel acoustic delay line wake-up mechanism, implemented an experimental hardware, and showed that it can improve the power-consumption efficiency of audio event detectors.
- I/2. He designed and implemented the hardware and software of an embedded gunshot detector module that utilizes the proposed wake-up mechanism and can be integrated into widely-used GPS tracking collars.
- I/3. He developed a novel gunshot detector algorithm that employs the two-domain audio information used for the proposed wake-up mechanism, and evaluated its accuracy and efficiency through real-world experiments.
- I/4. He developed a randomized architecture-search algorithm that generated, trained, and compared 1D and 2D convolutional neural networks that utilize the two-domain audio information for gunshot detection.

I did not and will not use these results in getting an academic research degree.

Regarding our joint results referred to in this thesis, the following ones were obtained as the result of indistributable joint contribution by the applicant and myself:

### Related publication:

György Kalmár, George Wittemyer, Péter Völgyesi, Henrik Barner Rasmussen, Miklós Maróti, and Ákos Lédeczi. Animal-borne anti-poaching system. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '19, page 91–102, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450366618. doi: 10.1145/3307334.3326080. URL <https://doi.org/10.1145/3307334.3326080>

Date:

19/08/20



Dr. Henrik Barner Rasmussen

# Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó “Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis” című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

**A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:**

- III/1. Kidolgozott és kiértékelte egy energia-elnyelődésen alapuló modellt használó algoritmust pupillaátmérő mérésére, implementált egy automatizált jellemzőkinyerő eljárást, továbbá bevezetett újszerű pupillogram jellemzőket.
- III/2. Újratervezte a korábban használt pupillometriai kísérleti eljárásmodot egy, a kamerát érintő hardver kiegészítéssel, amely jobb minőségű videókat eredményezett, ezáltal támogatja a robusztusabb és hatékonyabb kísérletezést.
- III/3. Betanított egy teljesen-konvolúciós neurális hálózatot pupilla szegmentálásra, amely hatékonyan feldolgozza az új kísérleti összeállítással rögzített videókat.

Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használok fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

**A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:**

—

## Kapcsolódó publikációk

- [1] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image Processing-based Automatic Pupillometry on Infrared Videos. *Acta Cybernetica*, 23(2), 599-613, 2017.
- [2] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Automating, Analyzing and Improving Pupillometry with Machine Learning Algorithms. *Acta Cybernetica*, 24(2), 197-209, 2019.

Kelt: *Szeged, 2020.08.24.*

  
.....  
Dr. Büki Alexandra

# Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó "Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis" című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

**A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:**

- III/1. Kidolgozott és kiértékelte egy energia-elnyelődésen alapuló modellt használó algoritmust pupillaátmérő mérésére, implemetált egy automatizált jellemzőkinyerő eljárást, továbbá bevezetett újszerű pupillogram jellemzőket.
- III/2. Újratervezte a korábban használt pupillometriai kísérleti eljárásmodot egy, a kamerát érintő hardver kiegészítéssel, amely jobb minőségű videókat eredményezett, ezáltal támogatja a robusztusabb és hatékonyabb kísérletezést.
- III/3. Betanított egy teljesen-konvolúciós neurális hálózatot pupilla szegmentálásra, amely hatékonyan feldolgozza az új kísérleti összeállítással rögzített videókat.

Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használok fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

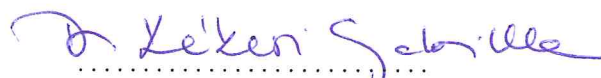
**A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:**

—

## Kapcsolódó publikációk

- [1] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image Processing-based Automatic Pupillometry on Infrared Videos. *Acta Cybernetica*, 23(2), 599-613, 2017.
- [2] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Automating, Analyzing and Improving Pupillometry with Machine Learning Algorithms. *Acta Cybernetica*, 24(2), 197-209, 2019.

Kelt: Szeged, 2020.08.24.

  
.....  
Dr. Kékesi Gabriella

# Társszerzői nyilatkozat

Kijelentem, hogy ismerem *Kalmár György* PhD fokozatra pályázó "Hardware-Software Co-development for Audio and Video Data Acquisition and Analysis" című disszertációját. A közösen publikált és a disszertációban is szereplő eredményekről az alábbi nyilatkozatot teszem.

## A következő eredményekben a pályázó hozzájárulása volt a meghatározó:

- III/1. Kidolgozott és kiértékelte egy energia-elnyelődésen alapuló modellt használó algoritmust pupillaátmérő mérésére, implementált egy automatizált jellemzőkinyerő eljárást, továbbá bevezetett újszerű pupillogram jellemzőket.
- III/2. Újratervezte a korábban használt pupillometriai kísérleti eljárásmodot egy, a kamerát érintő hardver kiegészítéssel, amely jobb minőségű videókat eredményezett, ezáltal támogatja a robusztusabb és hatékonyabb kísérletezést.
- III/3. Betanított egy teljesen-konvolúciós neurális hálózatot pupilla szegmentálásra, amely hatékonyan feldolgozza az új kísérleti összeállítással rögzített videókat.

Ezeket az eredményeket nem használtam fel és a jövőben sem használok fel tudományos fokozat megszerzéséhez.

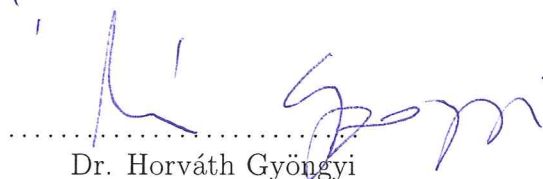
## A következő eredményekben a hozzájárulásunk oszthatatlan:

### Kapcsolódó publikációk

- [1] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Image Processing-based Automatic Pupillometry on Infrared Videos. *Acta Cybernetica*, 23(2), 599-613, 2017.
- [2] **G. Kalmár**, A. Büki, G. Kékesi, G. Horváth, and L. G. Nyúl. Automating, Analyzing and Improving Pupillometry with Machine Learning Algorithms. *Acta Cybernetica*, 24(2), 197-209, 2019.

Kelt:

Szeged, 2020 aug. 24,

  
Dr. Horváth Gyöngyi

