



**NEUMANN JÁNOS
INFORMATIKAI KAR**

SZAKDOLGOZAT

**OE-NIK
2022**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Bóta Gergely Attila
T/005585/FI12904/N**



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Óbudai Egyetem
Neumann János Informatikai Kar
Kiberfizikai Rendszerek Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve:
Törzskönyvi száma:
Neptun kódja:

Bóta Gergely Attila
T/005585/FI12904/N



A dolgozat címe:

Akusztikus kamera
Acoustic camera

Intézményi konzulens:
Külső konzulens:

Somlyai László

Beadási határidő:

2020. december 15.

A záróvizsga tárgyai:

Számítógép architektúrák
IoT, beágyazott rendszerek és robotika
specializáció



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

A feladat

Tervezzon és valósítson meg egy otthoni felhasználásra alkalmas akusztikus kamerát. A kamera legyen képes arra, hogy érzékelje a közeli hangforrásokat. A kapott méréseket dolgozza fel és egy energiatérképen jelenítse is meg azokat. A konstrukció kialakításakor figyeljen a mikrofonok (mikrofontömb) és a kamera helyes elhelyezésére. Vegye figyelembe a nyalábformálással együtt járó hibák megjelenését ("Ghost sources") és kezelje azokat. Figyeljen az eszköz energiatakarékosságára. Részletesen dokumentálja a tervezés, fejlesztés, megvalósítás és tesztelés egyes lépéseit.

A dolgozatnak tartalmaznia kell:

- a megoldandó feladat pontos leírását és részletes elemzését,
- a már működő rendszerek vizsgálatát,
- a felhasznált alkatrészek választásának okait,
- a rendszertervet és a döntési indoklásokat,
- a megvalósítás menetét,
- a tesztelési tervet, a tesztelés eredményeit, a fejlesztés során felmerült problémákat és azok megoldásait,
- az elkészült rendszer felhasználási-, és továbbfejlesztési lehetőségeit.

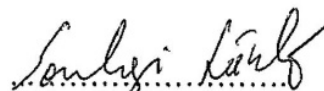



.....
Dr. habil. Lovas Róbert
intézetigazgató

A szakdolgozat elévülésének határideje: **2022. december 15.**
(OE TVSz 55.§ szerint)

A dolgozatot beadásra alkalmasnak tartom:

.....
külső konzulens


.....
intézményi konzulens



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat / diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatomban / diplomamunkámban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja.

Budapest, 2022.05.14.

Bóta György Attila
hallgató aláírása



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve:

Neptun Kód:

Tagozat:

BÓTA GERGELY ATTILA

NAPPALI

Telefon:

Levelezési cím (pl.: lakcím):

.....

Szakdolgozat / Diplomamunka címe magyarul:

AKUSZTIKUS KAMERA

Szakdolgozat / Diplomamunka címe angolul:

ACOUSTIC CAMERA

Intézményi konzulens:

Külső konzulens:

SOMLYAI LÁSZLÓ

Kérjük, hogy az adatokat nyomtatott nagy betűkkel írja!

Alk.	Dátum	Tartalom	Aláírás
1.	2020.03.30.	Feladatkiírás megbeszélése	Somlyai László
2.	2020.05.04.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 1.	Somlyai László
3.	2020.05.16.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 2.	Somlyai László
4.	2020.05.20.	Apróbb formai hibák kijavítása	Somlyai László

A Konzultációs naplót összesen 4 alkalommal, az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A hallgató a Szakdolgozat I. / Szakdolgozat II. (BSc) vagy Diplomamunka 1 / Diplomamunka 2 / Diplomamunka 3 / Diplomamunka 4 tantárgy követelményét teljesítette, beszámolóra / védésre bocsátható.

.....
Somlyai László

Intézményi konzulens

Budapest, 2020. május 21.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Neumann János Informatikai Kar
9. sz. melléklet

KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve: Neptun kód: Tagozat:
Bóta Gergely Attila [REDACTED] NAPPALI
Telefon: Levelezési cím (pl: lakcím):
[REDACTED]

Szakdolgozat / Diplomamunka¹ címe magyarul:

AKUSZTIKUS KAMERA.....

Szakdolgozat / Diplomamunka² címe angolul:

ACOUSTIC CAMERA.....

Intézményi konzulens: Külső konzulens:

SOMLYAI LÁSZLÓ

Kérjük, hogy az adatokat nyomtatott nagybetűkkel írja!

Alk.	Dátum	Tartalom	Aláírás
1.	2022.03.08.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 1.	Somlyai László
2.	2022.03.22.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 2.	Somlyai László
3.	2022.04.19.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 3.	Somlyai László
4.	2022.05.03.	Szakdolgozat állapotának ellenőrzése 4.	Somlyai László

A Konzultációs naplót összesen 4 alkalommal, az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A hallgató a Szakdolgozat I. / Szakdolgozat II. (BSc) vagy Diplomamunka 1 / Diplomamunka 2 / Diplomamunka 3 / Diplomamunka 4¹ tantárgy követelményét teljesítette, beszámolóra / védésre⁴ bocsátható.

Budapest, 2022.05.13.

Somlyai László
intézményi konzulens



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	9
2.	Irodalomkutatás	11
2.1	Bosch-kutatás	11
2.2	A kétfrekvenciás azonosító szonár akusztikus kamera halászati alkalmazása ...	12
2.3	Zaj forrásának lokalizálása	13
2.4	Szélcsatorna hangtérképezése	14
2.5	Szoba akusztika.....	15
2.6	Épület akusztika.....	17
2.7	Szalagbányászati kotrógép kültéri mérése 2D-ben	18
2.8	A vonatkerekek csikorgásának hangereje akusztikus kamerával	19
2.9	A vonatok belsejébe szivárgó zaj kimutatása akusztikus kamerával.....	20
2.10	Zajmérés autó belsejében akusztikus kamerával	21
2.11	További akusztikus kamerák	22
2.11.1	Mikado	22
2.11.2	Paddle2x52 AC Pro.....	23
2.11.3	Fibonacci120 AC Pro	24
2.11.4	Norsonic Hextile Akusztikus kamera.....	25
3.	Nyalábformálás	27
3.1	Akusztikus nyalábformálás	27
3.2	A szükséges fázistolás meghatározása.....	27
4.	Forráslokalizációs algoritmusok	28
4.1	MUSIC (Multiple Signal Classification)	28
4.2	DAMAS (Deconvolution Approach for the Mapping of Acoustic Sources).....	29
4.3	CLEAN algoritmusok	29
4.4	CS (Compressive Sensing)	29
5.	Konklúzió.....	30
6.	Rendszerterv	31
7.	Megvalósítás	32



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

8.	Szoftver és tesztelése	38
9.	Összefoglalás	45
10.	Summary	46



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

1. BEVEZETÉS

Az akusztikus kamera egy képalkotó eszköz, amelyet a hangforrások megtalálására és azok jellemzésére használnak. Mikrofon tömbökből áll, amelyekből a jeleket egyszerre gyűjtik be és dolgozzák fel a hangforrások helyének és mértékének ábrázolásához.

Az akusztikus kamera általában mikrofon tömbből és opcionálisan optikai kamerából áll. A mikrofonok (lehet analóg vagy digitális) vagy egyidejűleg, vagy előre meghatározott időeltolással használhatók, így lehetővé téve a jelek közötti fáziskülönbségek használatát. Mivel a hang a különböző közegekben (levegőben, vízben...) ismert sebességgel terjed, a mikrofonok a hangforrást különböző időpontokban érzékelik és különböző hangintenzitásokkal, amelyek mind a hangforrás helyétől és a mikrofon helyétől függenek. Az egyik legelterjedtebb módszer a mikrofon méréséből származó akusztikus kép megszerzésére a nyalábformálás. A nyalábformálás az egyes mikrofonjelek viszonylagos késleltetésével majd összevonásával az adott irányból érkező jel erősödik, míg a más irányból érkező jel törlődik. A kapott jel teljesítményét ezután kiszámítjuk és egy energia térképen jelenítjük meg az iránynak megfelelő képponton.

Bár ez a módszer számos előnnyel jár (könnyen érthető, könnyen párhuzamosítható), azonban van hátránya is. Az előállított akusztikus térképen „Ghost sources” avagy szellemforrások szerepelnek és nem helyesen korrelált hangforrásokat modelleznek. Különböző módszereket fejlesztettek ki annak érdekében, hogy csökkentsék a szellemforrásokat, mint például a DAMAS vagy figyelembe véve a korrelált forrásokat, mint például a CLEAN-SC.

Amikor a hangforrások közel vannak az akusztikus kamerához, a különböző mikrofonok által érzékelt relatív intenzitás, valamint az akusztikus kamera által nem síknak látszó, hanem gömbszerűnek tekintett hullámok új információkat adnak a készüléktől távol lévő forrásokhoz képest.

A távoli nyalábformálás eredményeit sík (kétdimenziós) vagy nem síkfelületekre (háromdimenziós) lehet visszahelyezni.

Egyes akusztikus kamerák kétdimenziós akusztikus térképezést használnak, amely egyirányú mikrofon tömböt használ. A kétdimenziós akusztikus leképezés a legjobban akkor működik, ha a vizsgálandó felületsík és az akusztikus kamera felfelé merőlegesen állítható. A valós tárgyak felületei azonban gyakran nem laposak, és nem mindig lehetséges az akusztikus kamera optimális elhelyezése. Ezen kívül az akusztikus térképezés kétdimenziós módszere hibát vezet be a hangintenzitás számításaihoz egy ponton. A kétdimenziós térképezés a háromdimenziós felületeket síkba közelíti, lehetővé téve, hogy az egyes mikrofonok és a fókuszpont közötti távolságot viszonylag könnyen kiszámítsák. Ez a közelítés azonban figyelmen kívül hagyja a különböző pontokon eltérő mélységű felületek által okozott távolságkülönbségeket. Az akusztikus kamera legtöbb



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

alkalmazásában ez a hiba elég kicsi ahhoz, hogy figyelmen kívül hagyja, zárt térben azonban a hiba jelentős lesz.

A háromdimenziós akusztikus kamerák a kétdimenziós kamerák hibáit a felületi mélységek figyelembevételével rögzítik, és így helyesen mérik a mikrofon és az egyes térbeli pontok közötti távolságokat. Ezek a kamerák pontosabb képet adnak, de az elemzett tárgy vagy tér 3D modelljét igénylik. Továbbá, ha az akusztikus kamera hangot vesz fel olyan helyről, amely nem része a modellnek, a hangot a modell véletlenszerű helyre is leképezheti, vagy a hang nem jelenik meg egyáltalán. A háromdimenziós akusztikus kamerák is használhatók a zárt terek, például a szobabelső elemzésére. Ehhez azonban szükséges egy olyan mikrofon-tömb, amely minden irányba képes hangot rögzíteni.

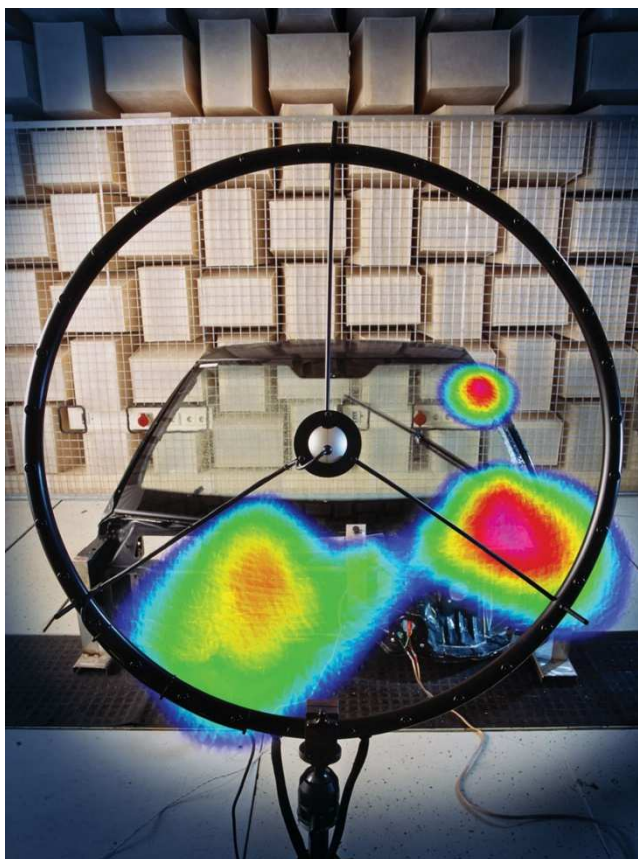
Az akusztikus kamera számos alkalmazási lehetőséggel rendelkezik, a legtöbb a zajcsökkentésre koncentrál. A kamerát gyakran alkalmazzák a járművek és vonatok, szerkezetek - például szélturbinák - zajkibocsátásának javítására. Az akusztikus kamerákat nem csak a termékek külső kibocsátásának mérésére használják, hanem az autók, vonatok vagy repülőgépek kényelmének javítására is. Az ilyen típusú alkalmazásokban a gömb alakú akusztikus kamera előnyös, mivel a mikrofon háromdimenziós elhelyezése lehetővé teszi a hangforrások lokalizálását minden irányban. A gépekben és a mechanikai alkatrészekben fellépő hibák hibaelhárítása akusztikus kamerával történhet. Ahhoz, hogy hol találja meg a problémát, egy megfelelően működő gép hangtérképezése összehasonlítható a zavaros gép egyikével.



2. IRODALOMKUTATÁS

2.1 BOSCH-KUTATÁS

A berendezés akusztikus része egy hulla-hoppkarikára emlékeztethet. A gyűrűhöz 32 hiperérzékeny mikrofon van hozzáerősítve, a közepén pedig egy videokamera helyezkedik el, ahonnan egy képsort rögzít, miközben párhuzamosan a hangfelvétel is elkészül. Egy számítógépes monitoron pedig a hang intenzitásának terjedését rávetítik a kapott képekre. Ezt a kamerát azonban nem nyílt térben használják, hanem egy olyan „süketszobában”, ahol meghallja és nyomon követi a meg nem szűrt működési zajokat, mint például a fúró, a sarokcsiszoló vagy az ablaktörlő hangjait.



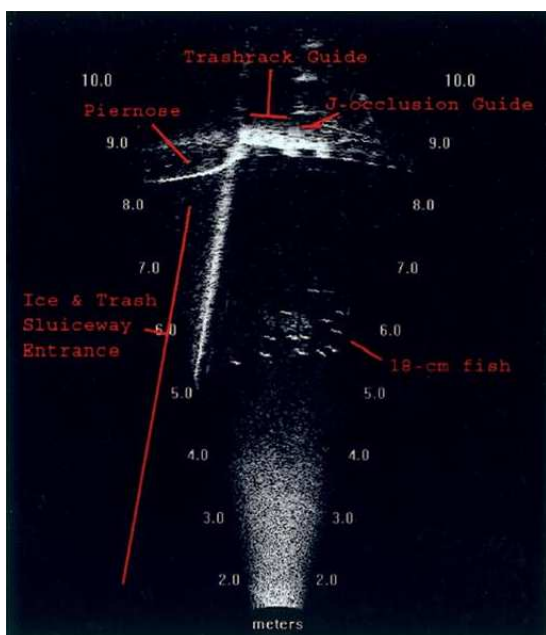
2.1. ábra: Bosch kutatás



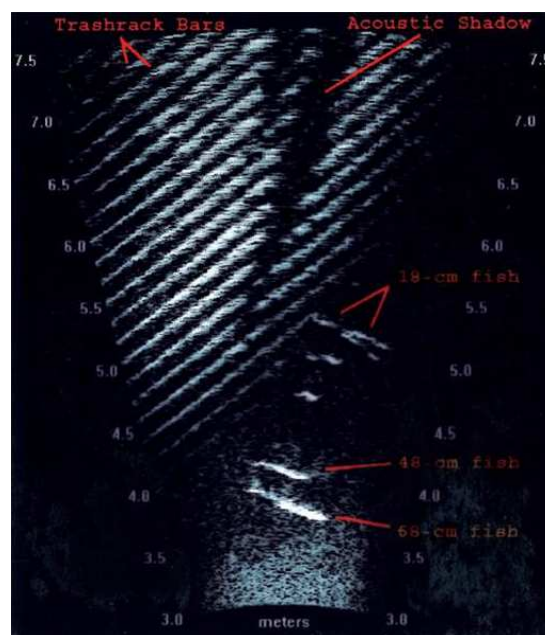
NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.2 A KÉTFREKVENCIÁS AZONOSÍTÓ SZONÁR AKUSZTIKUS KAMERA HALÁSZATI ALKALMAZÁSA

Az akusztikus kamera használatát a vízerőművek halászati átjáró kutatásában az Egyesült Államok hadsereg mérnöki testülete vizsgálja. A „Dual-Frequency Identification Sonar” (DIDSON) egy nagyfelbontású képalkotó szonár, amely közel képminőségű képeket szerez a víz alatti objektumok azonosításához. A Washingtoni Egyetem Alkalmazott Fizikai Laboratóriumának eredetileg az amerikai haditengerészet számára fejlesztették ki, és áthidalja a meglévő halászati értékelési szonár és optikai rendszerek közötti szakadékot. Az akusztikus kamerától 12 m-en belüli képek elég világosak ahhoz, hogy a halak hullámmozgások legyenek, amikor úsznak, és tájékozódásuk nem átlátható vízben is megállapítható. Az 1,8 MHz-es nagyfrekvenciás üzemmódban ez a rendszer egy 29°-os látómezőn keresztül sugároz. A nagy felbontás és a gyors képsebesség valós időben valósítja meg a célmegjelenítést. A DIDSON akkor használható, ha a hagyományos víz alatti kamerákat korlátozza az alacsony fényszint és a magas zavarosság.



2.3. ábra: Halászati alkalmazás



2.2. ábra: Halászati alkalmazás



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.3 ZAJ FORRÁSÁNAK LOKALIZÁLÁSA

Az akusztikus kamera sok időt, és így sok pénzt takaríthat meg. A zajforrások gyorsan és nagyon pontosan lokalizálhatók a hallgatók helyzetéből - még több száz méteres távolságban is. Ez a módszer számos előnnyel rendelkezik. Ahelyett, hogy számos mikrofont elszórva helyeznénk el a kívánt területen, az egész terület lefedhető pár méréssel az akusztikus kamera segítségével.

Ha például a szélturbina mérésére hagyományos technológiát alkalmaznak, számos mérési pontból származó adatokat kell beszerezni mikrofonok vagy rezgés-átalakítók segítségével. Ez természetesen nem könnyű feladat, figyelembe véve az objektum méretét és a pengék forgását.

Ha a zaj igazi eredete nem ismert pontosan, az akusztikus kamera egyetlen méréssel percek alatt bizonyíthatja, hogy a lefelé forduló pengék azok, amelyek a legjobban hozzájárulnak a zaj sugárzásához. Végül, de nem utolsósorban, a zaj elleni intézkedések sikerének dokumentálása sokkal könnyebb az új technológiával.



2.4. ábra: Szélturbina



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

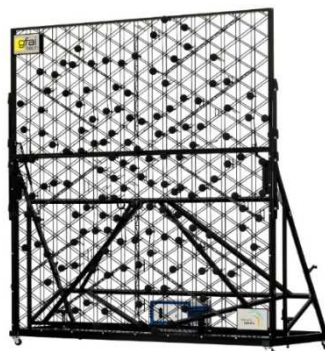
2.4 SZÉLCSATORNA HANGTÉRKÉPEZÉSE

Az aeroakusztikus vizsgálatok egyre fontosabbá válnak, különösen a repülőgépiparban és az autóiparban. Az aerodinamikailag létrehozott hangok azonosítása és csökkentése a fő hangsúly.

A gfaitech GmbH kifejlesztett egy NoiseImage nevű szoftvert, ami a fejlett elemzési funkciók széles skáláját kínálja, mint például a Clean-Sc algoritmus. A szélcsatorna modul lehetővé teszi az alkalmazás specifikus beállításokat, mint például a nyíró réteg korrekció alkalmazása vagy a szélesség figyelembevétele a szélcsatornában. Valós idejű funkcionális és optimalizált mérési ciklusok garantálják a gyors eredményeket olyan környezetben, ahol az idő rendkívül fontos.

Hardveroldalon az Evo Array az egyes szélcsatorna-alkalmazásokhoz optimalizálható. Legalább 120 mikrofon ajánlott, a készülék testreszabható a felhasználó igényei szerint, figyelembe véve az objektum méretét, a kívánt felbontást. Egyedülálló tömbszimulátor segítségével gyorsan és egyszerűen összehasonlíthatóak a különböző mikrofon tömb geometriák (méret, csatornaszám, mikrofon pozíció), így biztosítható, hogy a végső kialakítás tökéletes legyen.

Ezen kívül a mérőobjektum automatikus 3D-modellje (például a gyakran változó agyagobjektumokhoz) megvalósítható. Ez biztosítja a vizsgált objektum igazi méretarányos 3D-s modelljéhez való még nagyobb leképezési pontosságot. Ez a rendszer maga is telepíthető a szélcsatornába, vagy egy előkészítő helyiségbe, és rendelkezésre áll egy rendszer az aktuális objektum automatikus illesztésére a szélcsatornában és a 3D modellben is.



2.5. ábra: EVO Array

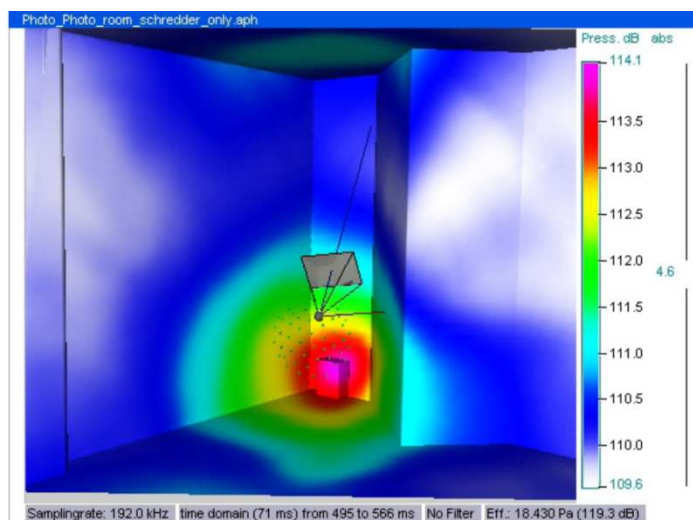


NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.5 SZOBA AKUSZTIKA

A zárt helyiségekben, például irodai és adminisztrációs helyiségekben, mozikban, koncerttermekben stb. a cél a hangátvitel leküzdése a légi és szerkezeti zaj formájában. Az akusztikus kamerát úgy használják, hogy egyetlen mérésen belül a helyiségekben és az épületekben akusztikailag problémás zónákat találjanak.

Az Akusztikus Kamerával elemezhető, hogy az épületeken és helyiségeken belül milyen zaj terjed, annak érdekében, hogy hatékony eszközöket találjanak az elkülönítéshez. Az akusztikus kamera nagy előnye, hogy a rögzített adatokat az idő tartományban tartja. Ez azt jelenti, hogy az időinformációk továbbra is fennmaradnak, és különösen a visszhang és a visszaverődések könnyen megkülönböztethetők a tényleges kibocsátástól.

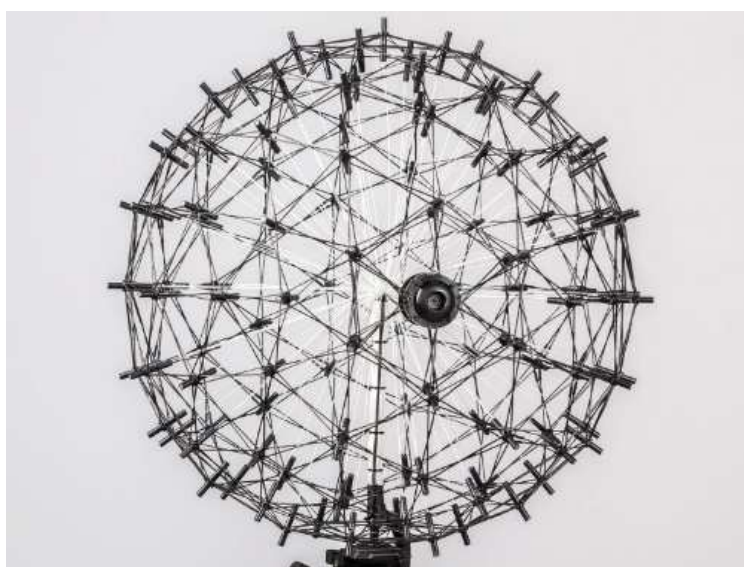


2.6. ábra: Akusztikus kamera képe



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

A 3D-s zajmérést az irodai szobán belül egy Array Sphere 120-as nevű akusztikus kamerával végezték a gfai tech mérnökei. A mérés lényege az volt, hogy egy iratmegsemmisítőn belül hol a legnagyobb a zajszint. Az első elemzést az Akusztikus Kamera eredményeinek érvényesítése céljából végezték. Ezért az irodai szoba CAD modelljében egy aprítógép került bevezetésre a FinalSurface (GFaI) szoftver segítségével. Az ábra azt mutatja, hogy a fő zajforrás az iratmegsemmisítő felső jobb sarkában van, miközben némi kisebb visszaverődést mutat a mennyezetről.



2.7. ábra: Array Sphere 120



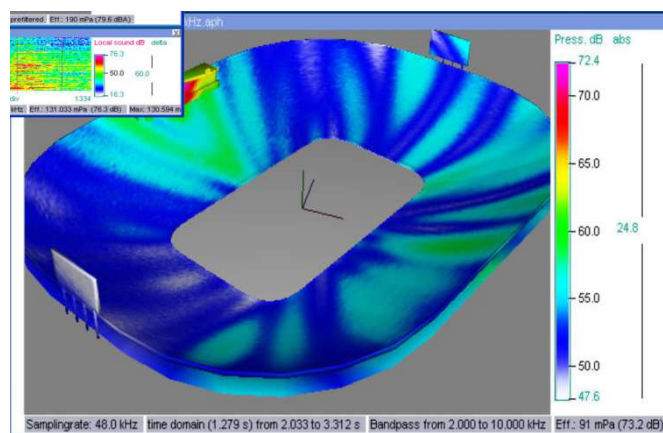
NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.6 ÉPÜLET AKUSZTIKA

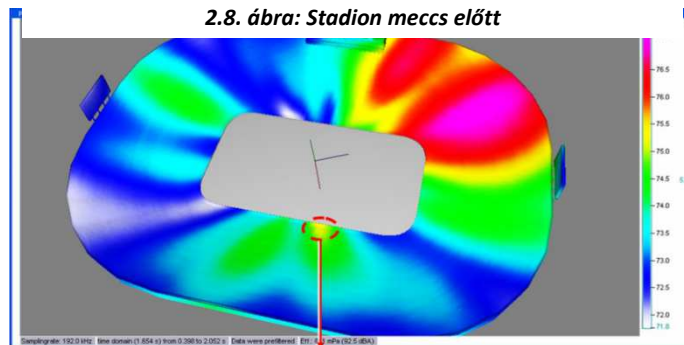
Ez a mérés bemutatja, hogy az akusztikus kamera hogyan használható hatékony eszközként az épület akusztikájához, amely a zárt és nyílt helyiségekben a hang terjedését vizsgálja és célja a levegő és az épület szerkezete által okozott zaj kiszűrése. Csak egy méréssel az Akusztikus Kamera eredményei választ adnak a hangterjedésre bármely szobában vagy épületben.

Ebben a mérésben a gfaitech csapata a teltházás Michigan stadionban bemutatja a legnagyobb mennyiségű forrással rendelkező mérést, amit nyalábformálással végeztek. Két féle mérést végeztek el a stadionban.

Az első elemzés a hangrendszer tesztet mutatja az üres stadionban, a második, pedig amikor már tele volt a stadion.



2.8. ábra: Stadion meccs előtt



2.9. ábra: Stadion meccs közben

Konklúzió:

Az akusztikus kamerát sikeresen alkalmazták a helyiség- és építési szektor mérésére. A helyiségben levő emberek számára a hangszolgáltatás, például a zene vagy a beszéd hatékonysága ellenőrizhető. Különösen a Michigani stadion esetében az eszköz bizonyította hasznosságát. Az akusztikus kamerával végzett mérések alapul szolgáltak a 2010-ben befejezett újjáépítés hatékonyságához.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

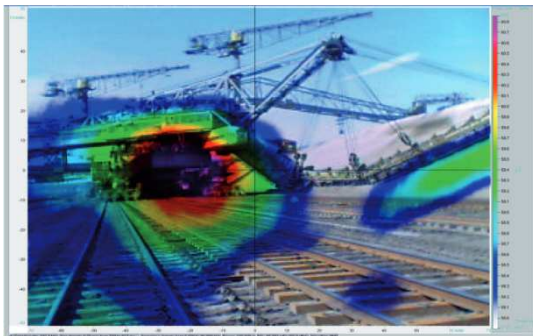
2.7 SZALAGBÁNYÁSZATI KOTRÓGÉP KÜLTÉRI MÉRÉSE 2D-BEN

A szabadföldi mérések területén az egyik kihívás a berendezés szállítása a mérés helyére. Továbbá, a rendszernek képesnek kell lennie hosszú távú mérésre, anélkül, hogy elhanyagolná az objektum összetettségét.

Az akusztikus kamera hardveres és szoftveres alkalmazásának bármely pontján történő használata lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy szabadon, több száz méteres távolságból álló szabadon álló tárgyakon mérést végezzen, függetlenül attól, hogy milyen összetett az objektum. Mind a széles, mind a kis sávú kibocsátások könnyen megtalálhatók.

A szalagbányászati kotrógép esetében például azt állapították meg, hogy az akusztikus kamera gyors, elkülönülő és hatékony elemzése meghaladta a várt eredményeket az elemzési és lokalizációs képességekhez szükséges időn belül. A gyártó most lépéseket tehet annak érdekében, hogy megszüntesse az erőmű zavaró zaját, a vezetécsonk tetején és a lapátoknál, hogy a környezetszennyezést drasztikusan csökkentse.

Ehhez a méréshez egy Star48 AC Pro nevű akusztikus kamerát használtak. Ez a kamera egy 48 csatornás mérőrendszer, amelyet kültéri alkalmazásokhoz terveztek. A könnyű alumínium tömb test a lehető legkisebbre van tervezve, hogy biztosítsa a könnyű kezelhetőséget és a pontos mikrofon pozicionálást. A mellékelt high-end állvány lehetővé teszi, hogy szinte minden elképzelhető terepen lehessen mérni.



2.10. ábra: Akusztikus kamera képe



2.11. ábra: Star48 AC Pro



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.8 A VONATKEREKEK CSIKORGÁSÁNAK HANGEREJE AKUSZTIKUS KAMERÁVAL

A vonatkerék csikorgásának leküzdése rendkívül összetett és nehezen leírható folyamat. Az egyik előfordulási ok az, ha a sín sugár eléri egy bizonyos dimenziót. Itt a kúpos kerék futófelület nem tudja kompenzálni a belső és a külső kerék közötti különbséget csak gördülő mozgással. A második zajkomponensért a külső kerék és a sín érintkezése az utazás során a felelős.

A vasúti járműgyártók számára nagy érték volt, hogy bevonja az akusztikus kamerát a kerék-vasúti rendszer zajkibocsátási problémájának vizsgálatába. A bevezető vizsgálatok érdekes eredményeket tártak fel, amelyek felgyorsították a problémamegoldást, és megerősítették a mérési rendszer alkalmazhatóságát az ilyen feladatokra. Az Akusztikus Kamera a gazdaságilag ésszerű forrásokon belül is lehetőséget nyújt arra, hogy a vizsgálatokat gyakorlatilag releváns tribológiai állapotokra, például csiszolósínekre, rossz profilozott sínekre vagy keréktárcsákkal rendelkező kerékpárookra is kiterjesszék.

A vonatkerekek zajának mérésére Array Ring 48-as akusztikus kamerát szoktak használni. A jel spektrális összetételétől függően a javasolt mérési távolság 0,5 és 5 méter között változik. A hosszabb tartományok jelentősen nagyobb frekvenciatartományokban mérhetők.



2.13. ábra: Vonatkerekek hangszintje



2.12. ábra: Array Ring 48



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.9 A VONATOK BELSEJÉBE SZIVÁRGÓ ZAJ KIMUTATÁSA AKUSZTIKUS KAMERÁVAL

Egyre fontosabbá válik a zajcsökkentés a vonat-áthaladás és az ügyfelek elégedettsége terén. Az esettanulmányok egyértelműen kimutatják az akusztikus kamerával végzett mérések értékét a zajszabályozás területén mind a kocsik, mind a vonatok tekintetében. Az akusztikus kamera használata lehetővé teszi az elemző számára, hogy bármely kritikus helyen mérje az akusztikus hotspotokat gyorsan és hatékonyan.

A leképezési eljárás jól alkalmazható az álló és mozgó kocsik belső terében. Itt mind a 2D-, mind a 3D-térképezés elérhető. A kép a fék zajszivárgását mutatja az ülés előtt. A bemutatott példa azt mutatja, hogy egy viszonylag egyszerűen kezelhető elemzési rendszer alkalmas a közlekedési zajcsökkentés projektjeire és méréseire. Könnyen komoly eredményeket érhetnek el rövid idő alatt, miközben a zajnak való kitettség tekintetében valamennyi érintett utas számára jobb utazási élményt tudnak biztosítani.

Ezekhez a mérésekhez Array Sphere 120-as akusztikus kamerát szoktak használni.



2.14. ábra: Vonat utasterébe beszivárgó hangok szintje



2.15. ábra: Array Sphere 120



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.10 ZAJMÉRÉS AUTÓ BELSEJÉBEN AKUSZTIKUS KAMERÁVAL

Az autókabin belsejében lévő hangforrások lokalizálása az autó mozgása során mindig nehéz feladat volt, vagy azért, mert a berendezés nem fért el az autó belsejébe, vagy azért, mert a berendezés külső ellátást igényelt.

Például egy esetben arra volt használva az akusztikus kamera, hogy megmérje honnan ered az észlelt zaj, amikor az autó sebessége elérte a körülbelül 160 km/h-t. Az adatok a gépkocsi-fülke belsejének 3D-s modelljével lettek felszerelve, és az eredmények azt mutatják, hogy az ismeretlen zajt egy hibás ablaktörlő okozta.

Ez az eset is azt mutatja, hogy az akusztikus kamera gyors, pontos és hatékony, és megtalálja a problémát, és helyesen azonosítja a zajforrást.

A példában említett méréseket a Sphere48 akusztikus kamerával, 144 csatornás adatrögzítővel és egy 4 órát bíró mobil tápegységgel végezték. A mikrofon tömb a két első ülés között van elhelyezve, hogy a mikrofonok lefedjék a maximális belterületet.

Az akusztikus kamera lehetővé teszi a belső 3D-analízist. A mobil akkumulátor lehetővé teszi az akusztikus méréseket mozgáskorlátozott terekben is. Mind a zajtípusok, mind a helyhez kötött, mind az impulzus zajok pontosan elemezhetők és elhelyezhetők még alacsony frekvenciatarományokban és hangos környezetben is.



2.16. ábra: Sphere48 az utastérben



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.11 TOVÁBBI AKUSZTIKUS KAMERÁK

2.11.1 MIKADO

Ez a készülék tökéletesen alkalmas a zajok és rezgések problémájának megoldására. Annak köszönhetően, hogy ez egy vezeték nélküli eszköz, olyan mérési lehetőségeket biztosít, amit vezetékes társai nem, továbbá lehetővé téve a zajforrások gyors és hatékony azonosítását.

A mikrofon pozíciói véletlenszerűen és algoritmikusan optimalizáltak vannak elosztva a készüléken. A kamerán 96 digitális MEMS mikrofon van elosztva egy 35 cm átmérőjű felületen.

Az adatok valós időben, közvetlenül a helyszínen elemezhetők, mivel a Microsoft Surface Pro tableten futó NoiseImage Mobile hatékony adatrögzítést tesz lehetővé.



2.17. ábra: Mikado akusztikus kamera
hátról



2.18. ábra: Mikado akusztikus kamera előlről



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.11.2 PADDLE2X52 AC PRO

Ez a hordozható kézi akusztikus kamera 104 kétrétegű mikrofoncsatornával rendelkezik, amelyek lehetővé teszik a valós idejű akusztikus méréseket rövid távolságokból. A kétrétegű szerkezet lehetővé teszi az akusztikus nyomásjelek mérését, mindeközben pedig képes akusztikus intenzitást számolni és monitorozni is tud egyidejűleg.

A kétrétegű mikrofonok úgy működnek, hogy egy vektort szolgáltatnak az akusztikus térkép kiszámításához. A lapát része a készüléknek használható kiegészítőként az akusztikus kamerához vagy önálló eszközként is. A számítási kernel az akusztikus számításokhoz be van ágyazva a NoiseImage nevű szoftverbe.

A mikrofon tömb teste a lehető legkisebbre van tervezve, biztosítva a pontos mikrofon pozicionálást. A mikrofonok bekötése és védelme a tömb-test által védett, ami miatt a lehető legjobb akusztikai átláthatóságot biztosítja a pontos hangszint mérésére. Ezen kívül a mikrofonok elhelyezése minimálisra csökkenti a mérési objektum és a mikrofon tömb közötti részleges visszaverődést és rezonanciahatásokat. Továbbá a mikrofon elrendezés megkönnyíti a zajforrások megkülönböztetését a mérési síkban és a lapát mögötti területen.

A beépített stúdió mikrofonok lineáris frekvenciaváltozattal rendelkeznek. Mindegyik úgy van kalibrálva, hogy biztosítsa a stabil hangnyomásszinteket (± 0.5 dB). Ahhoz, hogy nagyobb távolságokon is tudjuk használni ezt az akusztikus kamerát, rá kell kötni egy mcdRec adatgyűjtőre. Az akusztikus kamera egy beépített, fókuszált, nagy látószögű objektívvel ellátott Ethernet-kamerával is rendelkezik.



2.20. ábra: mcdRec adatgyűjtő



2.19. ábra: Paddle 2x52 AC Pro



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.11.3 FIBONACCI120 AC PRO

A Fibonacci akusztikus kamera egy új megvalósítást képvisel, amely lehetővé teszi a közeli és távoli méréseket ugyanazzal a készülékkel.

Ez az akusztikus kamera felhasználható nyalábformáláshoz és a holografikus mérésekhez is. A választott módszertől függően a javasolt mérési távolság 0 és 10 méter között van. A mikrofonok elrendezése miatt a közeli és a távoli méréseket egy tömb segítségével el lehet végezni.

A mikrofon tömbtervezés optimalizálva van a lehető legnagyobb térbeli felbontás biztosítására. Ezen kívül a mikrofon tömb úgy lett megtervezve, hogy minimálisra csökkentse a részleges visszaverődést és a mért objektum és a mikrofon tömb közötti rezonanciahatásokat.

Hasonlóan, mint az előbb említett Paddle2x52 AC Pro-nál itt is úgy vannak kalibrálva a mikrofonok, hogy biztosítsa a stabil hangnyomásszinteket (± 0.5 dB). Ennél a kameránál viszont nem csak akkor kell rákötni az mcdRec adatgyűjtőre, ha nagyobb távolságon akarunk mérni, hanem mindig. Ezen az akusztikus kamerán kettő úgynevezett Baumer Ethernet kamera található. A készülékhez tartozik egy olyan tripod is, amellyel szinte bármilyen környezetben tudunk mérni.



2.21. ábra: Fibonacci120 AC Pro



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

2.11.4 NORSONIC HEXTILE AKUSZTIKUS KAMERA

A Norsonic Hextile egy modul alapú megközelítése az akusztikus kamerának, amelynek előnye a könnyen hordozhatóság és emellett nagy felbontással is rendelkezik. A mikrofon tömböt hatszögformába tervezték, mivel így több lapot összeillesztve nagyobb rendszerré is kombinálhatjuk.

Ha egyetlen Hextile kamerát használunk, akkor egy kis, hordozható és könnyű akusztikus kamerát kapunk, amely szinte bármely mérési helyzetben megállja a helyét. A Hextile egy USB-alapú akusztikus kamera, egyetlen USB-kábellel az áramellátás és az adatátvitel is meg van oldva, ezért nincs szüksége egy további táp kábelre. A Hextile alumíniumból készült és 128 darab mikrofonnal van ellátva.

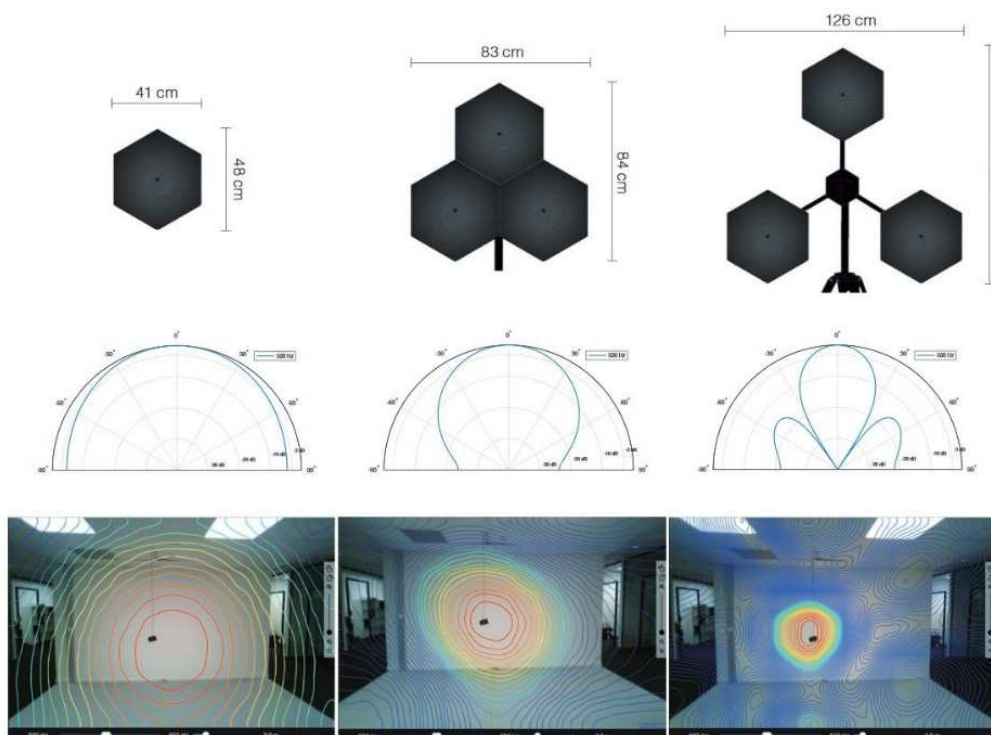


2.22. ábra: Norsonic Hextile



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Ha a felhasználó jobb felbontást szeretne kisebb frekvencián vagy összességében, akkor három darab Hextile kombinálásával előállítható egy úgynevezett Multitile rendszer. Ez a Multitile akusztikus kamera 384 darab kamerával rendelkezik és 96 cm az átmérője. A legalacsonyabb frekvencia, amin használható ez a rendszer az a 220 Hz.



2.23. ábra: Norsonic Hextile használat közben



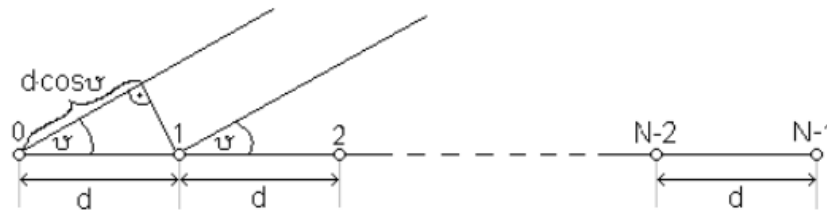
3. NYALÁBFORMÁLÁS

3.1 AKUSZTIKUS NYALÁBFORMÁLÁS

Egy akusztikus kamera megvalósításának alapja a nyalábformálás. Ennek során egy adott felület összes pontját végig pásztázzuk, és mindig az aktuálisan vizsgált pontra összpontosítjuk a különböző mikrofonok jeleit. A felület pontjai elvileg tetszőleges ponthalmaz pontjai lehetnek, a gyakorlatban viszont ezeket egy sík vagy gömbfelületen adott rács csomópontjaiban kell felvenni, mivel így a pásztázás eredményeként kapott adatokat könnyű megjeleníteni. A megvizsgált pontokat virtuális forráspozícióknak is szokás nevezni, a pontok sokaságát pedig képsíknak. Minden egyes virtuális forráspozícióból a mikrofonokhoz a hullámterjedésből adódó fázistolást és csillapítást az úgynevezett terjedési vektorok adják meg.

3.2 A SZÜKSÉGES FÁZISTOLÁS MEGHATÁROZÁSA

A mikrofonok által vett jelek szükséges fázistolásának meghatározására két módszert szoktunk használni a gyakorlatban. Az elkülönítés alapja a kiemelő hangforrás helyének megadása. Az első algoritmus csak a hangforrás mikrofonsorral bezárt szögét veszi figyelembe. Ezt akkor tudjuk használni, amikor a forrás nagyon messze található, ebből származik a végtelen fókusz távolságú nyalábformálás elnevezés. Ilyenkor a mikrofonokra bejövő gömbhullám a nagy görbületi sugár miatt síkhullámnak tekinthető, a beesési irány egyértelműen megadható a hullámfront normálisa és a mikrofonok egyenesével között bezárt szöggel.



3.1. ábra: fázistolás számítása

A másik elterjedt nyalábformálási algoritmus a szükséges fázistolás meghatározására az úgynevezett véges fókusz távolságú nyalábformálás. Ebben az esetben, a fókuszpont ekkor nem végtelen távolságra van a mikrofonoktól. Ekkor minden pontszerűnek tekintett mikrofonfókuszról való távolságát meg kell határozni a szükséges fázistolások



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

kiszámítása érdekében. Ehhez a fókuszpont helyét annak koordinátaival célszerű megadni.

4. FORRÁSLOKALIZÁCIÓS ALGORITMUSOK

A hagyományos nyálábformálással több probléma is előfordulhat. Ilyen például a melléknyalábok zavaró hatása, mely szellemforrások megjelenését okozza, vagy a túl nagy főnyalábszélesség (elmosódás). Forráskép készítése során az akusztikus kamera forráspontjával pásztázzuk végig a kívánt felületet vagy teret. A pásztázás során egy adott idejű jelszakaszból a felület összes pontjára kiszámítjuk a jelszintet. Amennyiben a mérés során éppen egy olyan pontra fókuszálunk, ahol egy melléknyaláb található, úgy az adott irányból egy nem létező forrást detektálunk, mivel azt a fő irányban levő forrás okozta, nem az adott irányban levő forrás. Másként megfogalmazva ezeket az okozza, hogy a mért amplitúdótérkép a valós forráseloszlás és a mikrofontömb okozta karakterisztika konvolúciójaként adódik, ami az amplitúdótérkép térbeli felbontását csökkenti. A térben pontszerű, egységnyi erősségű forrás által adott amplitúdótérképet (az akusztikai kamera térbeli impulzusválasztát) PSF-nek (Point Spread Function) nevezzük. Képtisztító algoritmusok segítségével megkísérelhető a dekonvolúció, vagyis a hamis források kiszűrése, valamint a főnyaláb szélessége is csökkenthető.

4.1 MUSIC (MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION)

A MUSIC algoritmus inkoherens források helyének feltérképezésére szokták használni. Az eljárás a pásztázás során minden pontról megbecsüli, hogy az adott pontban elhelyezett forrás a mért adatokkal megegyezik-e figyelembe véve, hogy kevés számú forrás aktív egyszerre. Az algoritmus egy egyszerű és kis számításigényű iránybecslő eljárás, amelyet elektromágneses iránymérési eljárásokban többantennás vétel során alkalmaznak. A metódus a mikrofontömb korrelációs mátrixának sajátvektor-sajátérték elemzésén alapul.

Az algoritmus a becsült források számának megfelelő legnagyobb sajátértékekhez tartozó sajátvektorokat veszi figyelembe, majd ezután megtörténik a terjedési vektorok vetítése ezekre a sajátvektorokra:

$$G_U = U(U^H U)^{-1} U^H \quad (1)$$

U : Jeltér bázisa

G_U : Vetítés mátrixa



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

4.2 DAMAS (DECONVOLUTION APPROACH FOR THE MAPPING OF ACOUSTIC SOURCES)

A DAMAS algoritmust azért fejlesztették ki, hogy az akusztikus kamera által létrehozott kép tisztább legyen, kiszűrje a hibásan detektált forrásokat, és a tényleges források intenzitását és helyét minél pontosabban becsülje meg. A módszer a nyálábformálás karakterisztikáját igyekszik kitörölni, így a kép kitisztul és a hamis források is eltűnnek. Ezt dekonvolúcióval próbálja elérni, ha a vett jeleket dekonvolváljuk az akusztikai kamera (térbeli) impulzusválaszával, visszakapjuk az eredeti forráseloszlást.

Az algoritmról általánosan elmondható, széles körben alkalmazható, és kevés megkötéssel rendelkezik. Számításiigénye miatt azonban valós idejű használatra nem igazán alkalmas, így offline alkalmazások során használható leginkább.

4.3 CLEAN ALGORITMUSOK

CLEAN algoritmusból kétféle is létezik. A CLEAN-PSF algoritmus alkalmazásánál azt feltételezzük, hogy a források pontszerűek és egyben irányfüggetlenek is. Ebben az esetben az amplitúdóterkép előáll a több forrás által gerjesztett hangnyomás értékek szuperpozíciójaként. Ez a már korábban említett PSF (Point Spread Function), ami a mikrofontömb válasza egy pontforrásra. Az eljárás során a maximumhelyekre kiszámolt PSF-eket kivonjuk az eredeti amplitúdóterképből, és ezt ciklusonként ismételjük egy meghatározott pontig.

A CLEAN-SC a CLEAN-PSF egy továbbfejlesztett formája, amely figyelembe veszi azt is, hogy a tényleges források nem kizárólag pontszerűek, és a melléknyalábok okozta hamis források jelei összefüggők. Az algoritmus iteratíván eltávolítja az amplitúdóterképről azokat a részeket, amik a tényleges forrással (vagyis az aktuálisan vizsgált maximummal) összefüggők.

4.4 CS (COMPRESSIVE SENSING)

A CS egy általános jelfeldolgozási módszer, ami lineáris rendszerek megoldásainak a keresésével állít helyre egy jelet. Előzetes ismeret nélkül nincsen lehetőség egy jel helyreállítására a minták között. Előzetes ismeretek, vagyis a helyreállítási problémát kiegészítő kényszerfeltételek segítségével azonban egy jel tökéletesen helyreállítható a mintákból. A módszer működése azon az elven alapul, hogy a jel „ritkaságát” fel lehet használni ahhoz, hogy sokkal kevesebb mintából helyreállítható legyen, mint amit a Shannon–Nyquist mintavételi törvény megkövetelne.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

5. KONKLÚZIÓ

Az akusztikus kamerák segítségével növelni tudjuk a hagyományos leképezési módszerek eredményességét, ezáltal pedig csökken a hibás értelmezés valószínűsége. A haladó autók, repülőgépek vagy a szélturbinák zaját sokkal könnyebben és realisztikusabban el tudjuk végezni az akusztikus kamerával.

A közeljövőben az integrált nagysebességű kamerák lehetővé teszik a gépekben és más műszaki berendezésekben keletkező hangok összetett és idő szempontjából kritikus folyamatainak megjelenítését. A 3D-objektumok akusztikus feltérképezése új lehetőségeket kínál a belső helyiségek gyors és egyszerű ellenőrzésére, például a kerekess vagy vasúti járművek belsejében vagy a repülőgépek belsejében. Az újonnan kifejlesztett módszerek olyan alkalmazásokban is ígéretesek, amelyek erősen háromdimenziós struktúrájú felületeket tartalmaznak, ahol jobb eredményeket mutatnak fel, mint a hagyományos 2D síkbeli leképezések.

Az akusztikus kamera bebizonyította, hogy nagyon hasznos eszköz az épületek akusztikájának kialakításának szempontjából is. Mindazonáltal az alacsonyabb frekvenciatartományokban (<200Hz) és 8 kHz feletti frekvenciákon is még mindig van hely a fejlődésre.

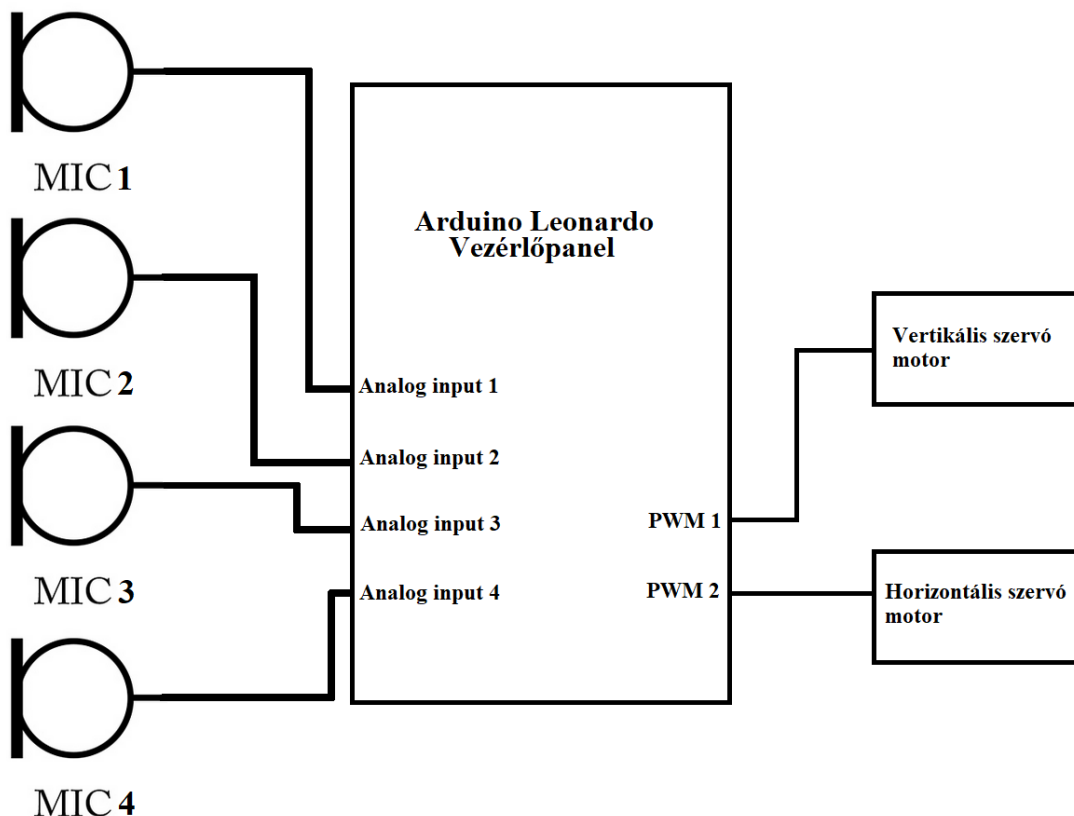


NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

6. RENDSZERTERV

Az akusztikus kamera megvalósításához szükséges fontosabb elemek:

- Mikrofonok:
A hangforrások észleléséhez szükséges mikrofontömb. A mikrofonok egy nyák panelen fognak elhelyezkedni úgy, hogy 2 darab a vízszintes tengely két végén, 2 darab pedig a függőleges tengely két végén helyezkedik el. Ezen túl kell valami, ami izolálja a mikrofonokat (Pl. szivacs).
 - 4 db BCM-9767P Mikrofon
- Szervó motorok:
A szervó motorok segítségével lehet az akusztikus kamerát a megfelelő irányba fordítani. Kell egy-egy motor a vízszintes és függőleges tengelyű mozgásokra.
 - 2 db SG90 9G Micro Servo Motor
- Vezérlőpanel:
Ebbe a panelbe lesznek bekötve a mikrofonok. Továbbá erre panelre lesz rátöltve az a programkód, amivel a rendszer működni fog.
 - Arduino Leonardo Fejlesztő Panel



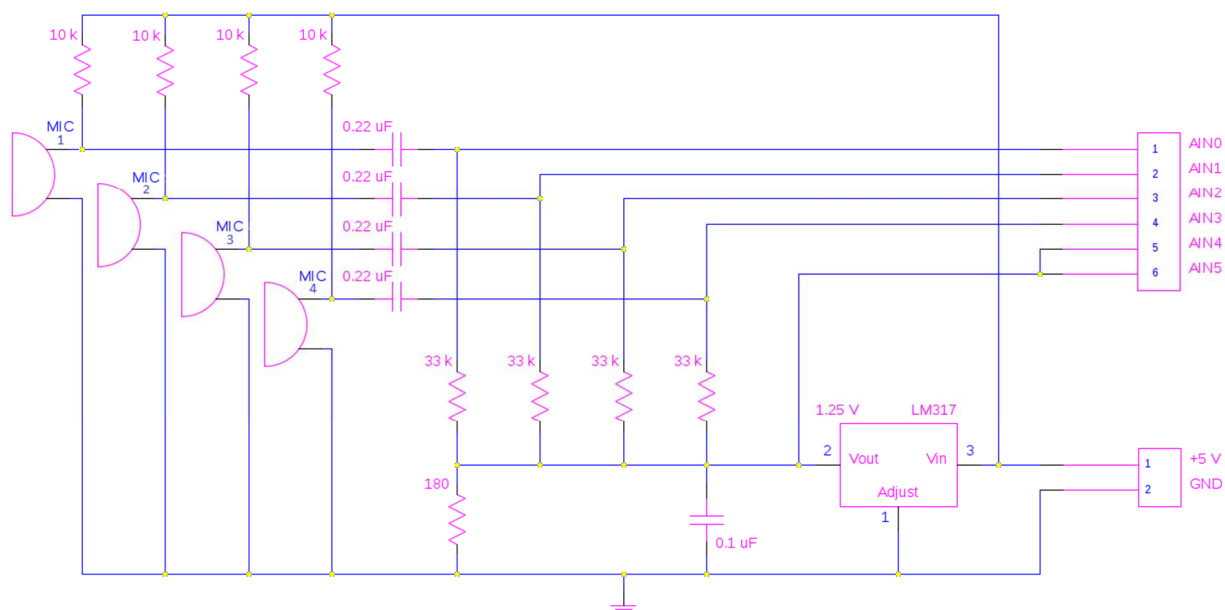
6.1. ábra: Séma a főbb elemekről



7. MEGVALÓSÍTÁS

Mikrofonok bekötésének kapcsolási rajza:

Mind a négy mikrofon kimenete el van látva 1-1 ellenállással és kondenzátorral, ez a lába a mikrofonoknak megy a vezérlőpanel analóg portjaira. A mikrofonok másik lába a földelést szolgálja. A képen látható még egy LM317-es feszültség stabilizátor, ami itt 5 Voltból 1.25 Voltot csinál.



7.1. ábra: Mikrofonok bekötése

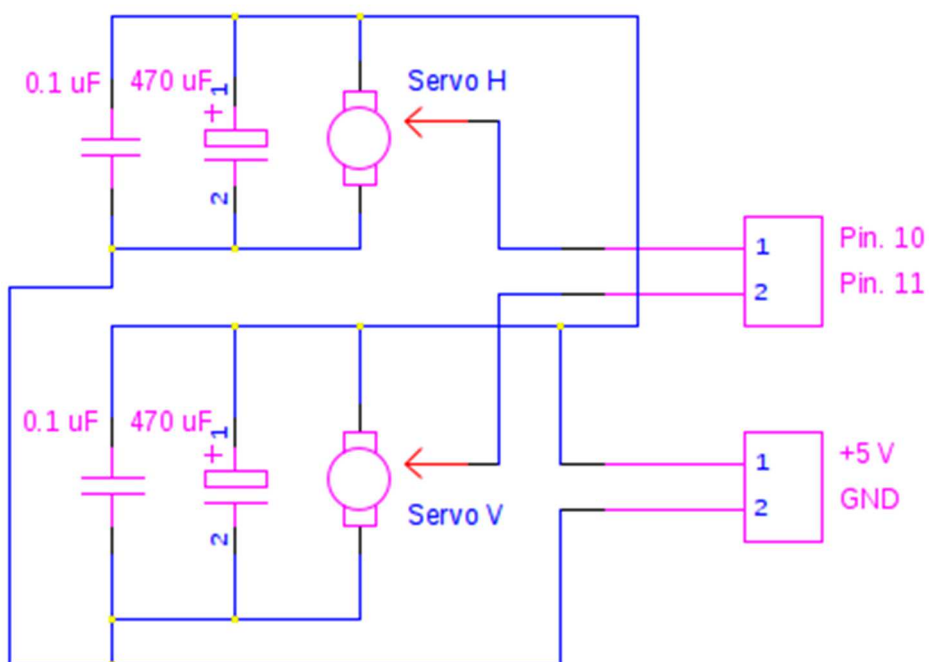


NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Szervó motorok bekötésének kapcsolási rajza:

Kettő szervó motorra van szükség, egy, ami a függőleges tengely mentén, a másik pedig a vízszintes tengely mentén forgatja a mikrofón tömböt a megfelelő irányba.

A szervó motoroknak 3 db lábuk van. Van egy földelés, egy amiről az 5 Voltot kapja és a harmadik pedig a PWM (pulse-width modulation). Ez utóbbi lába van rákötve a vezérlő panel digitális PWM portjára.



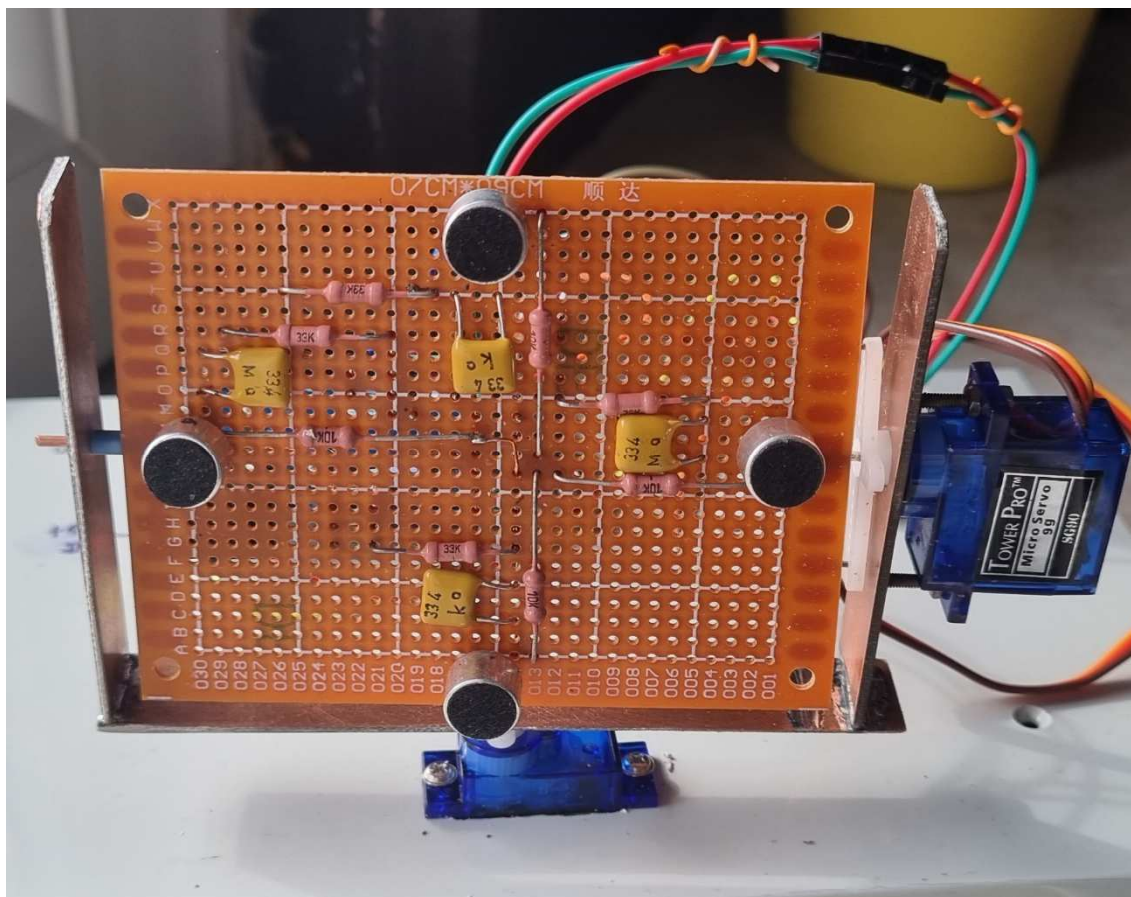
7.2. ábra: Szervó motorok bekötése



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Mikrofontömbök és szervó motorok megvalósítása:

A következő két képen látható a 7.1-es ábrán látható kapcsolási rajz megvalósítása. Az első képen látható, hogyan csatlakoznak a szervó motorok ehhez az állványhoz, amin a mikrofonok veszik a jelet. A célom az volt, hogy a mozgatni kívánt állványt minél kisebb súlyúra csináljam meg, ezzel is könnyítve a motorok dolgát.

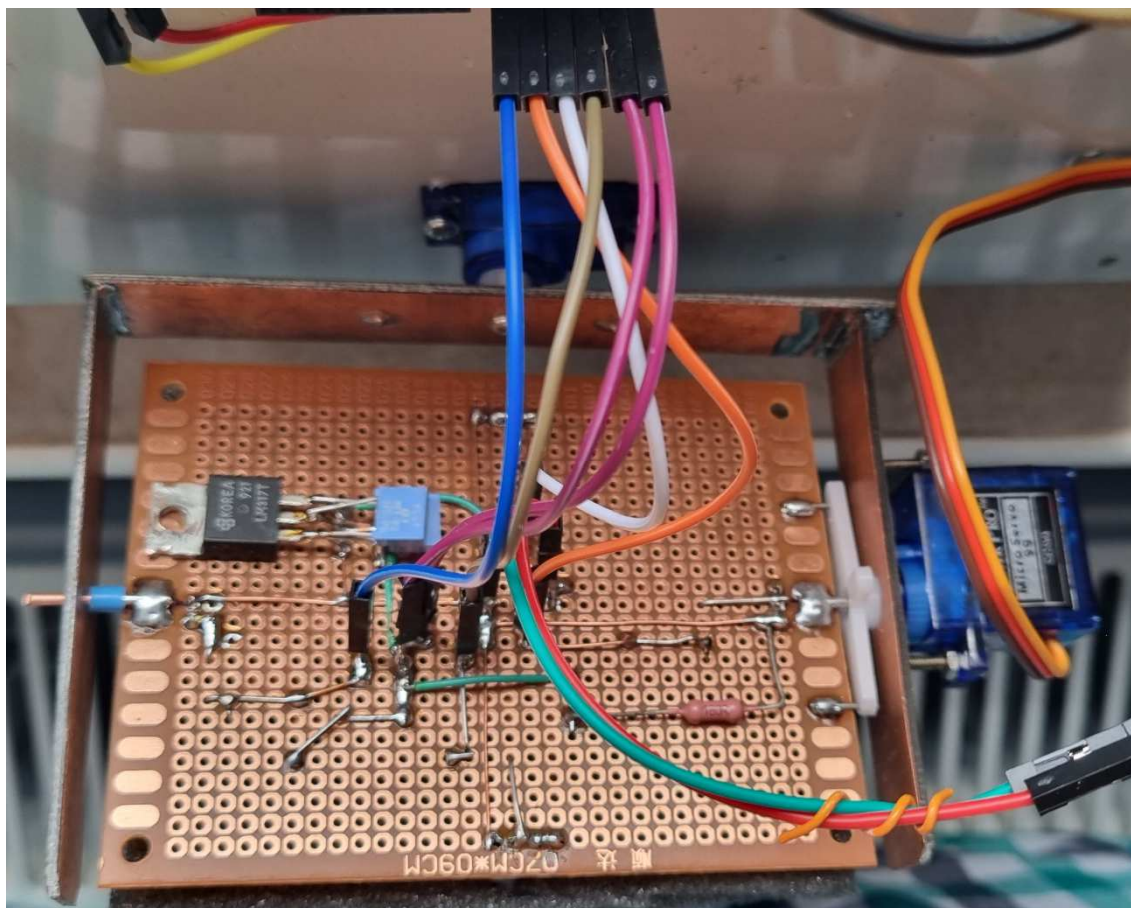


7.3. ábra: Mikrofontömbök megvalósítása szemből



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Ezen a képen a nyák lap másik oldala látható, a feszültség stabilizátor és a 7.1-es ábrán látott kapcsolási rajz többi része: Az analóg portok bekötése a vezérlőpanelbe, az 5V és a földelés. Az 5 Voltot, a földelést és a két szervó motor kábelét egy külső részre gyűjtöttem össze és onnan kötöttem tovább az Arduino panelbe. Ezt egy későbbi képen még jobban kifejtem.

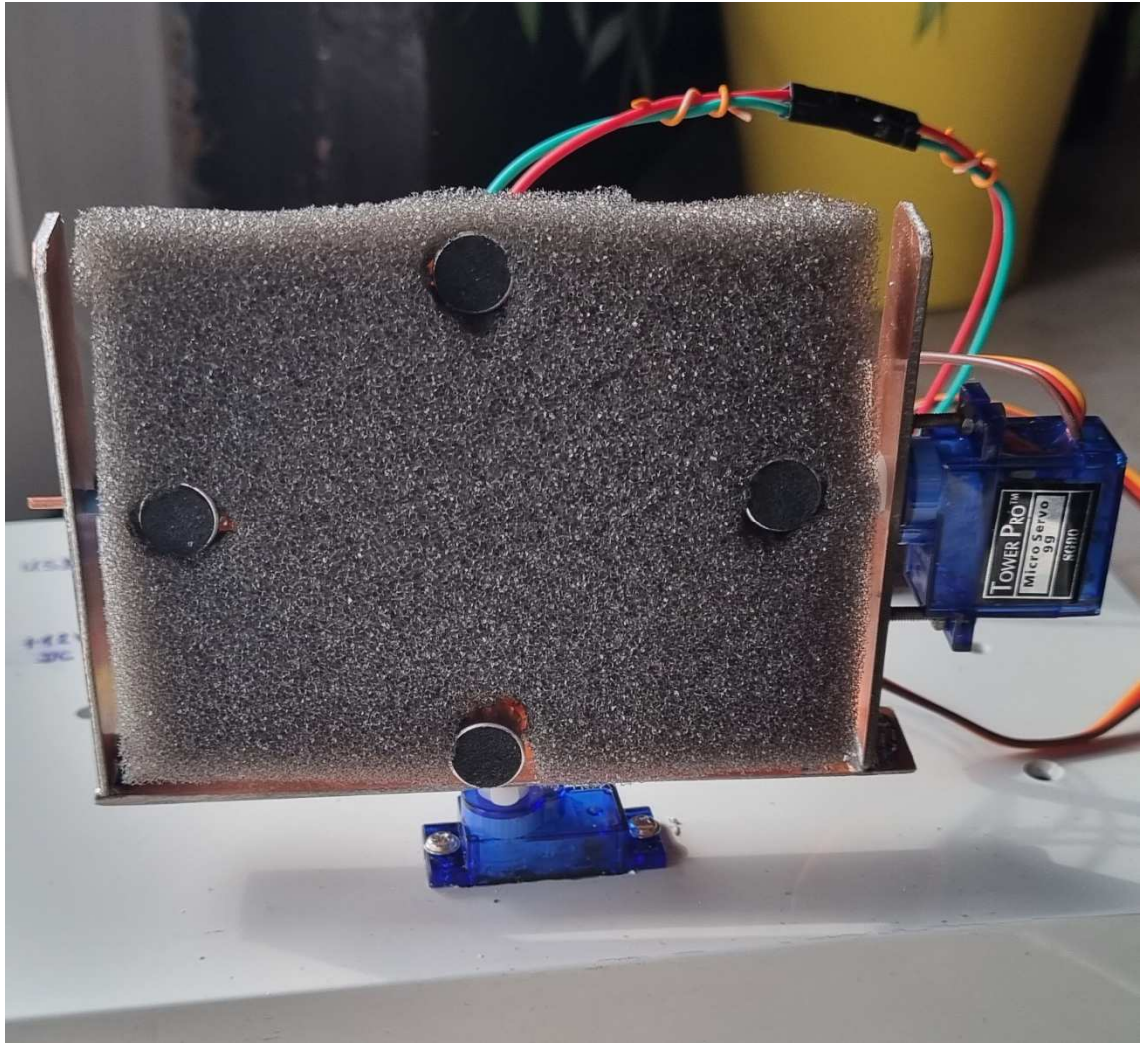


7.4. ábra: Mikrofontömbök megvalósítása hátulról



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Ezen a képen szintén előlről látjuk a mikrofonokat. A mikrofonok köré egy szivacsot helyeztem azért, hogy az egyes mikrofonok jobban izoláltak legyenek, így valamivel pontosabb értékeket fogunk kapni a mikrofonokból.

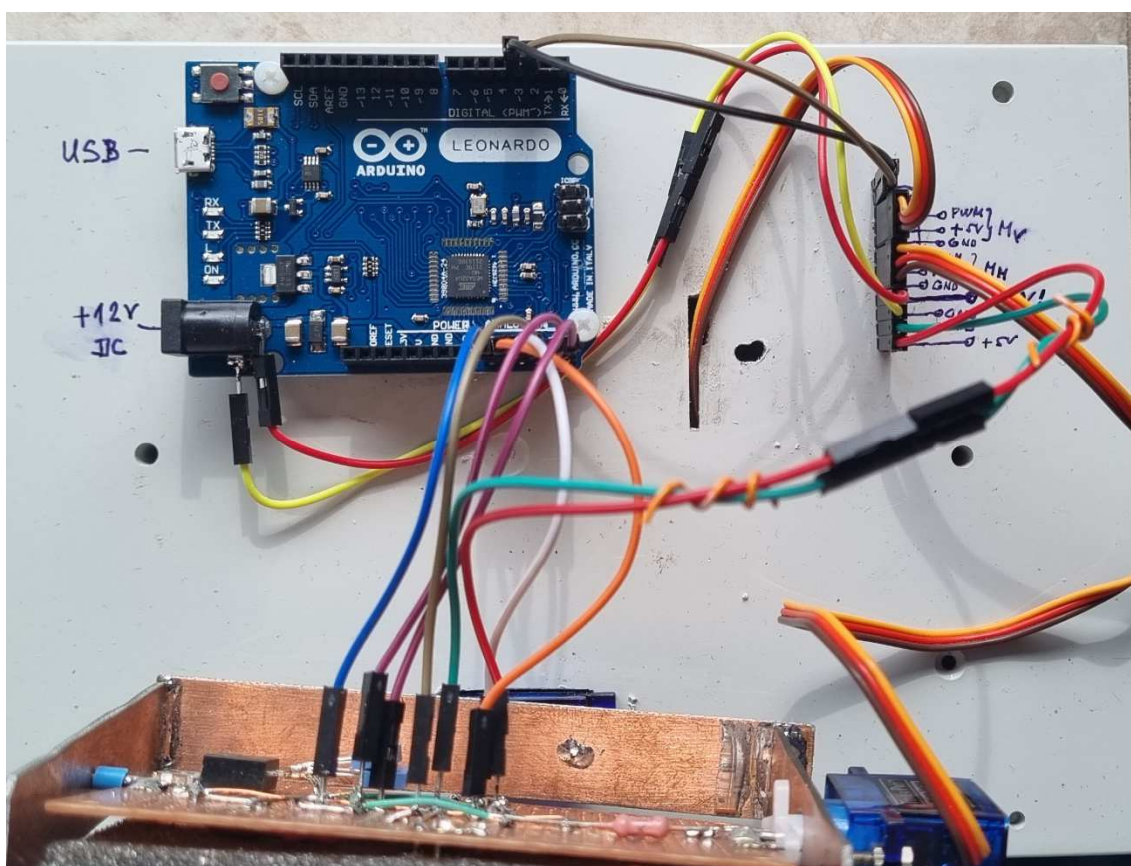


7.5. ábra: Mikrofontömbök szemből, hang izolációval



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Ezen a képen látható maga az Arduino panel és a külső kábelgyűjtő. A kép jobb oldalán látható, hogy ez a „gyűjtő” 12 pinből áll. Alulról haladva van egy 5 Voltos pin, utána föld a mikrofonoknak, a következő 2 pin közvetlen a 12 Voltos táp bemenetét hozza ide. A tartódoboz belsejében van egy feszültség stabilizátor, ami az itt átvezetett 12 Voltból 5 Voltot csinál. Ez után következik a két szervó motor kábele, pontosabban a földelés, 5V és a PWM. A legfelső kettő pin páronként össze vannak kötve a megfelelő motor PWM lábával és így viszik tovább a jelet, amit a digitális PWM portról kap. Az analóg bemenetek kábelét azért kötöttem közvetlen a panelra, mert így elég közel vannak a függőleges tengelyhez, így minimálisan mozognak csak működés közben.

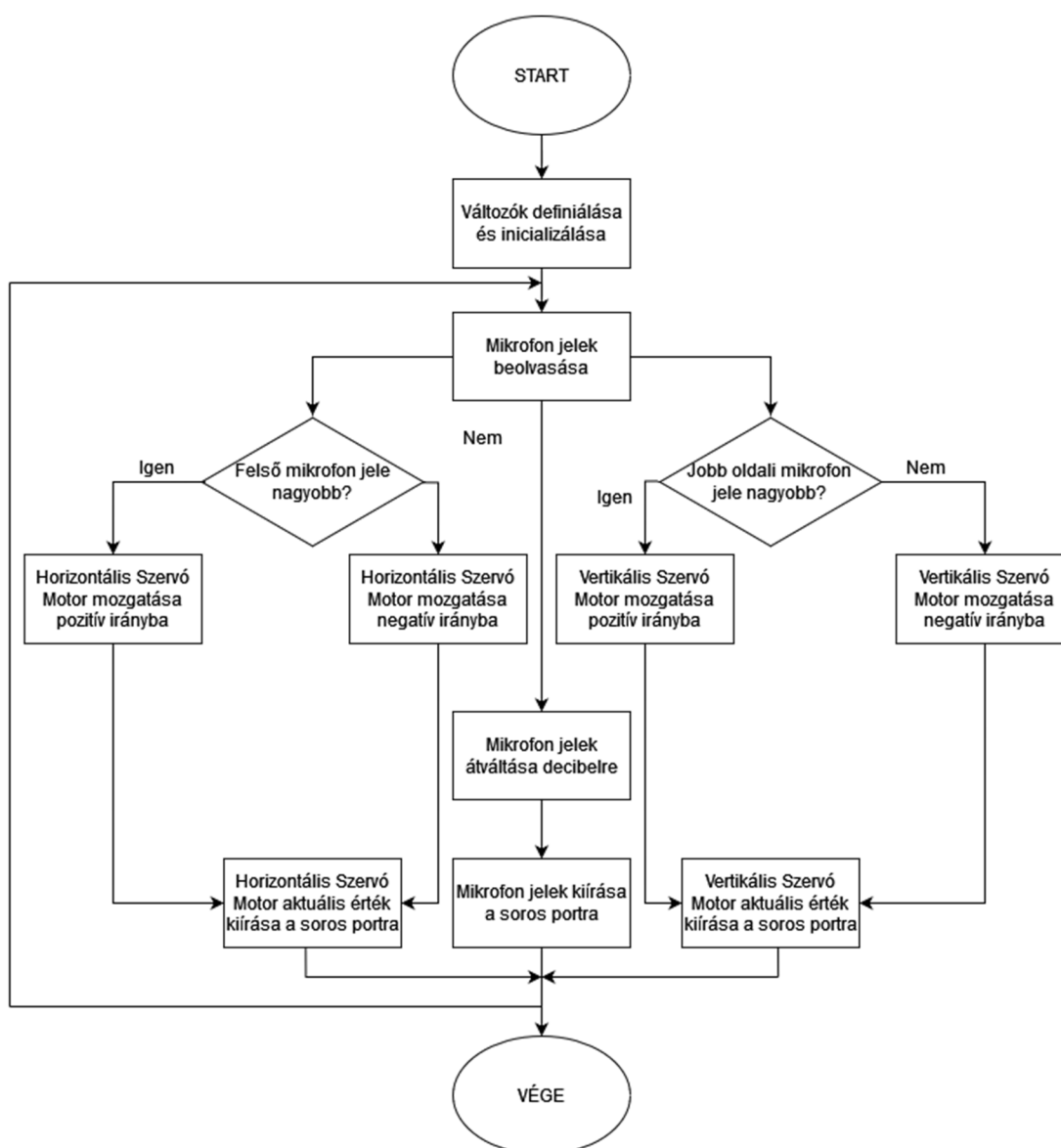


7.6. ábra: Arduino panel és bekábelezése



8. SZOFTVER ÉS TESZTELÉSE

A tesztelés előtt szeretnék kitérni egy kicsit a szoftver működésére. Az Arduino programban először a szükséges változókat definiáltam, majd a setup metódusban inicializáltam a szervó motorokat, ezzel alaphelyzetbe állítva őket. Ezután a loop metódusban a mikrofonokból érkező jeleket beolvasom, aztán külön-külön megvizsgálom a horizontális és vertikális mikrofontömbök jeleit. Ha ez megvan utána ezeket a jeleket átváltom decibelre, majd a soros port segítségével kiírom őket. A felső és alsó mikrofont a horizontális szervó motor forgatja attól függően, hogy az egyes mikrofonok milyen jelet adnak. Ez ugyan úgy működik a jobb és bal oldali mikrofonokkal is. Ezek után az egyes szervó motorok értékeit is kiírom fokban a soros portra.



8.1. ábra: A szoftver folyamatábrája



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

A továbbiakban bemutatok pár mérést és azok eredményeit. Először a mikrofon tömböket teszteltem le a szervó motorok nélkül. A tesztek 1kHz-es hangforrással készültek.

Az következő képen az a helyzet látható, amikor nem csináltam külön hangforrást, így ez az alapállapota a rendszernek.

```
Felső Mikrofon (ADC): 260.00 | micUp (dB) : 31.19
Alsó Mikrofon (ADC) : 260.00 | micDown (dB) : 31.19
Jobb Mikrofon (ADC) : 260.00 | micRight (dB): 31.19
Bal Mikrofon (ADC) : 260.00 | micLeft (dB) : 31.19
```

8.2. ábra: Rendszer alapállapota

Ez után elindítottam egy hangforrást és a négy mikrofon közül a felső mikrofonhoz tartottam a legközelebb. Ahogy látszik így a felső mikrofon értéke a legnagyobb.

```
Felső Mikrofon (ADC): 361.00 | micUp (dB) : 40.37
Alsó Mikrofon (ADC) : 307.00 | micDown (dB) : 35.46
Jobb Mikrofon (ADC) : 302.00 | micRight (dB): 35.01
Bal Mikrofon (ADC) : 297.00 | micLeft (dB) : 34.55
```

8.3. ábra: Felső mikrofon tesztelése

Ezt követően, ezt a fajta tesztet megcsináltam hasonló módon a többi mikrofonra is. A következő három kép ezt ábrázolja.

```
Felső Mikrofon (ADC): 277.00 | micUp (dB) : 32.74
Alsó Mikrofon (ADC) : 322.00 | micDown (dB) : 36.83
Jobb Mikrofon (ADC) : 284.00 | micRight (dB): 33.37
Bal Mikrofon (ADC) : 269.00 | micLeft (dB) : 32.01
```

8.4. ábra: Alsó mikrofon tesztelése

```
Felső Mikrofon (ADC): 278.00 | micUp (dB) : 32.83
Alsó Mikrofon (ADC) : 272.00 | micDown (dB) : 32.28
Jobb Mikrofon (ADC) : 315.00 | micRight (dB): 36.19
Bal Mikrofon (ADC) : 274.00 | micLeft (dB) : 32.46
```

8.5. ábra: Jobb mikrofon tesztelése

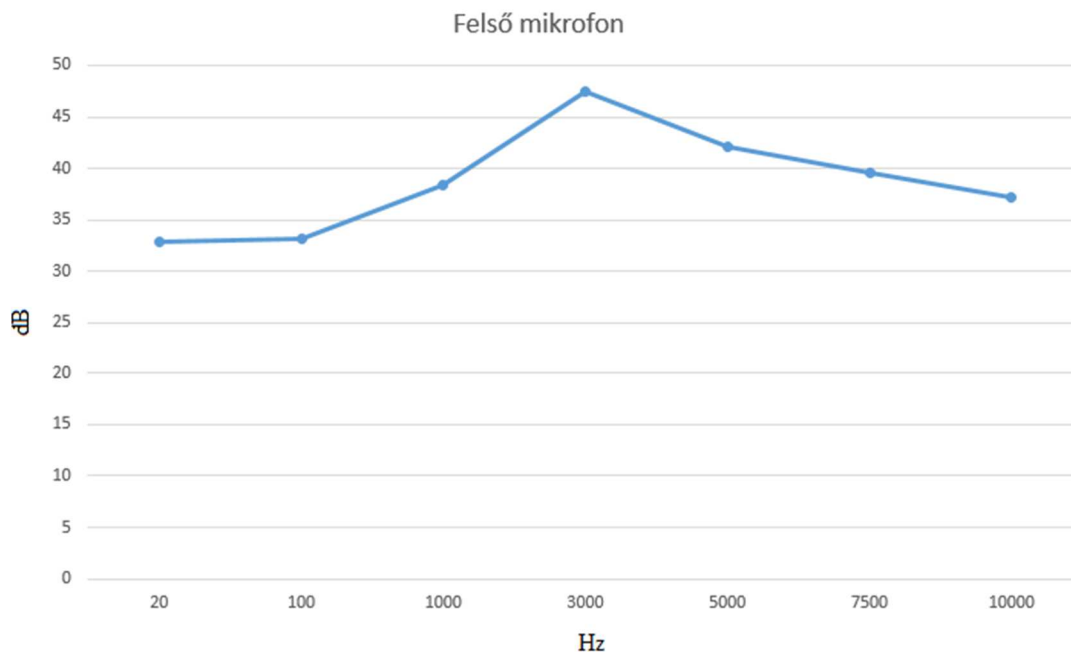
```
Felső Mikrofon (ADC): 274.00 | micUp (dB) : 32.46
Alsó Mikrofon (ADC) : 269.00 | micDown (dB) : 32.01
Jobb Mikrofon (ADC) : 289.00 | micRight (dB): 33.83
Bal Mikrofon (ADC) : 331.00 | micLeft (dB) : 37.64
```

8.6. ábra: Bal mikrofon tesztelése

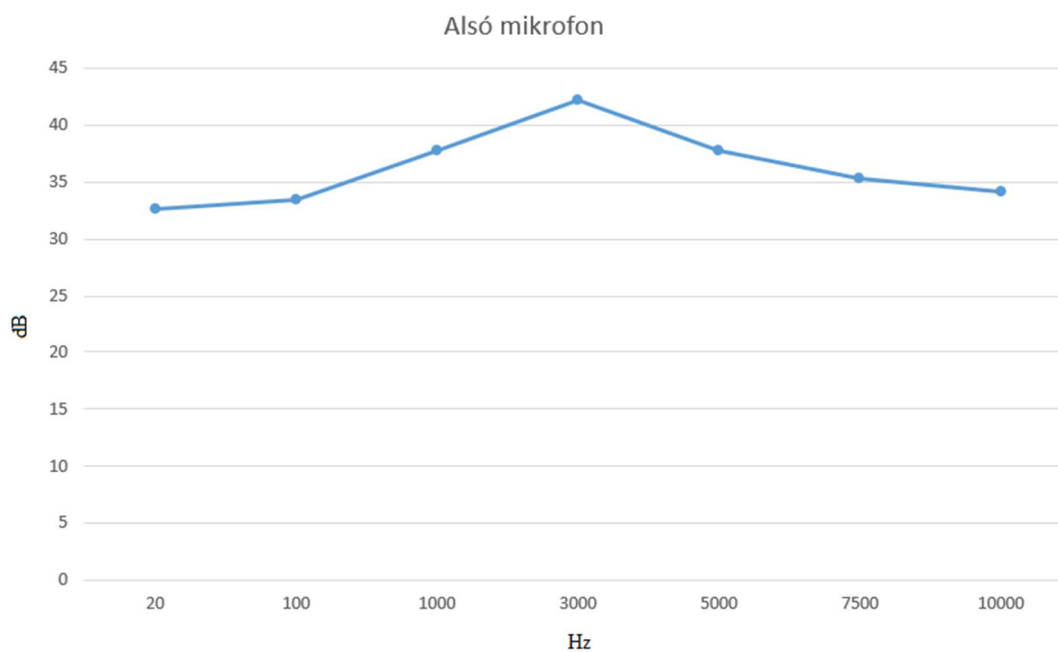


NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

A következő 4 ábrán látható teszteken 20 Hz és 10kHz között mértem meg az egyes mikrofonok frekvencia érzékenységét.



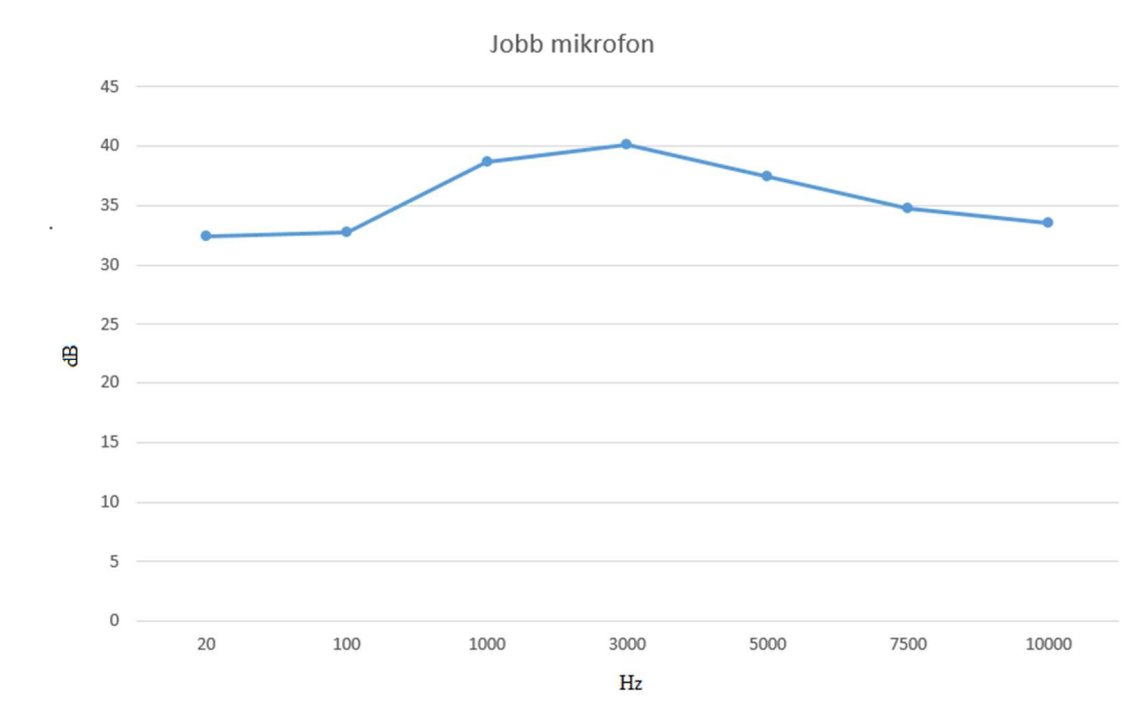
8.7. ábra: Felső mikrofon frekvencia érzékenysége



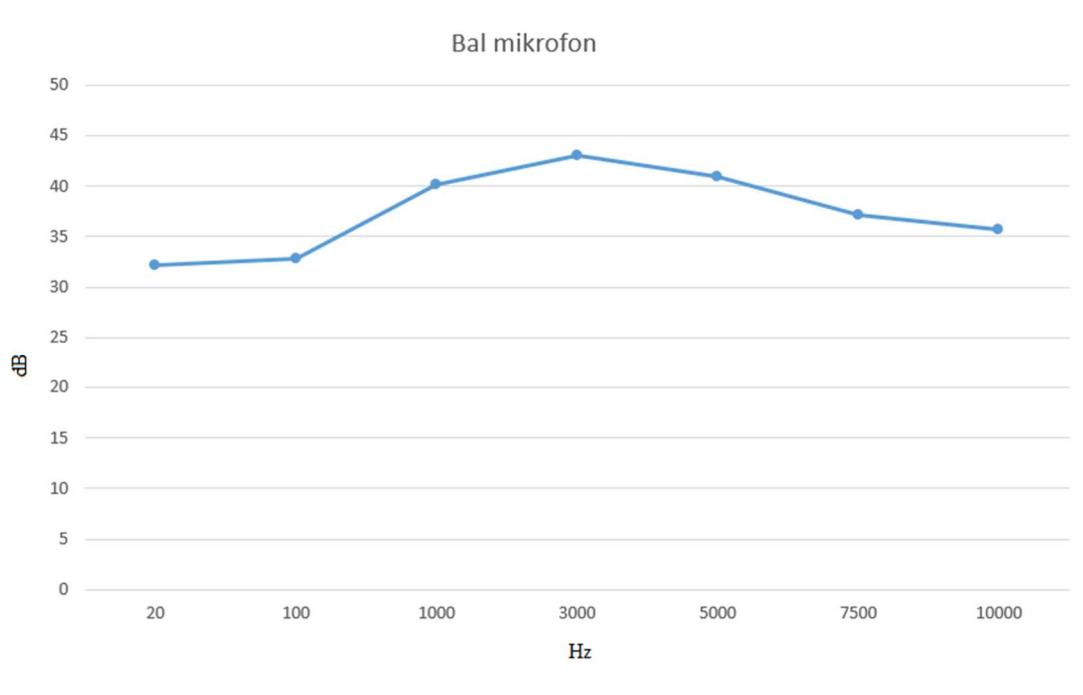
8.8. ábra: Alsó mikrofon frekvencia érzékenysége



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR



8.9. ábra: Jobb mikrofon frekvencia érzékenysége



8.10. ábra: Bal mikrofon frekvencia érzékenysége



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Szeretnék bemutatni pár tesztet a szervó motorokról. A motorok alaphelyzetét mindkét esetben 90 fokra állítottam be, mert így mindkét irányba ugyan annyit tudnak forogni.

```
Horizontális Szervó Motor szöge: 90 fok.  
Vertikális Szervó Motor szöge: 90 fok.
```

8.11. ábra: Szervó motorok alaphelyzete

A szervó motorokat is hasonlóképpen teszteltem le, mint a mikrofonokat. Hangforrást generáltam mind a négy mikrofon közelében és így néztem meg, hogy a motorok a megfelelő irányba fordulnak-e. A következő négy képen egy-egy állapot látszik mind a négy teszt esetre.

```
Horizontális Szervó Motor szöge: 130 fok.  
Vertikális Szervó Motor szöge: 70 fok.
```

8.12. ábra: Szervó motor állapota, amikor a felső mikrofon jele a nagyobb

```
Horizontális Szervó Motor szöge: 50 fok.  
Vertikális Szervó Motor szöge: 70 fok.
```

8.13. ábra: Szervó motor állapota, amikor az alsó mikrofon jele a nagyobb

```
Horizontális Szervó Motor szöge: 60 fok.  
Vertikális Szervó Motor szöge: 120 fok.
```

8.14. ábra: Szervó motor állapota, amikor a jobb mikrofon jele a legnagyobb

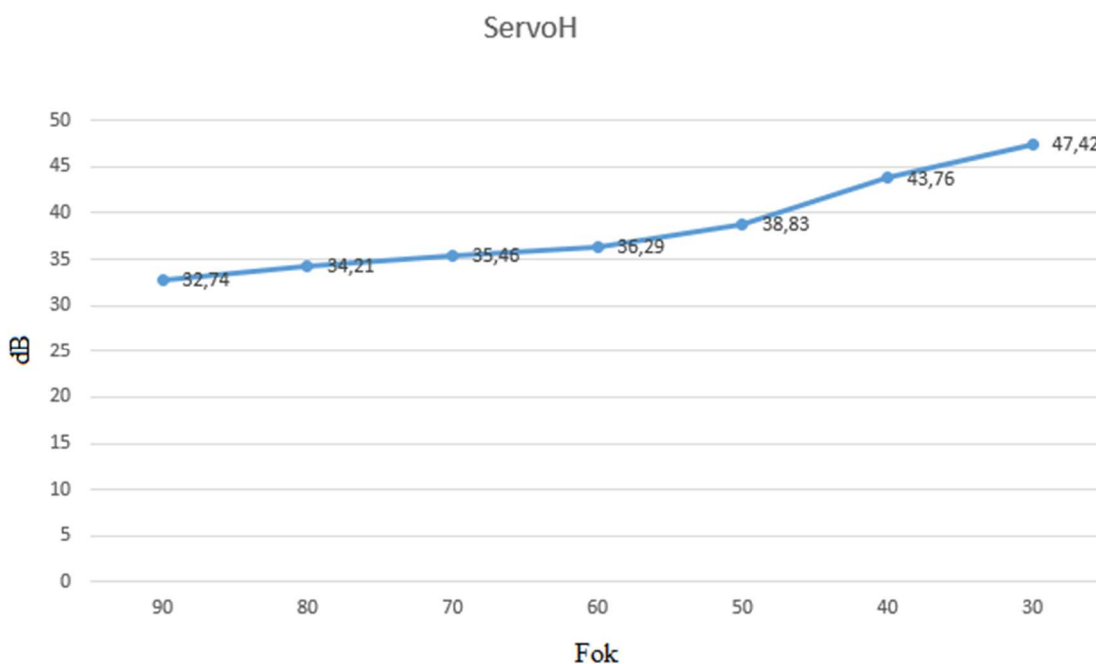
```
Horizontális Szervó Motor szöge: 60 fok.  
Vertikális Szervó Motor szöge: 60 fok.
```

8.15. ábra: Szervó motor állapota, amikor a bal mikrofon jele a legnagyobb



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

Készítettem pár tesztet a mikrofonokról és szervó motorokról együtt. Az első ábrán annak a tesztnek az eredményei látszanak, ahol a horizontális szervó motort és a hozzá tartozó mikrofon tömböt teszteltem. Ahogy látszik, a hangforrás szemből nézve az alaphelyzettől (90-90 fok) balra volt. Egy pár mérést diagramba helyeztem, hogy látszódjon, ahogy fordul balra az eszköz egyre nagyobb hangerő. 10 fokos lépés mértéket választottam, hogy jobban látszódjon az eredmény az ábrán.

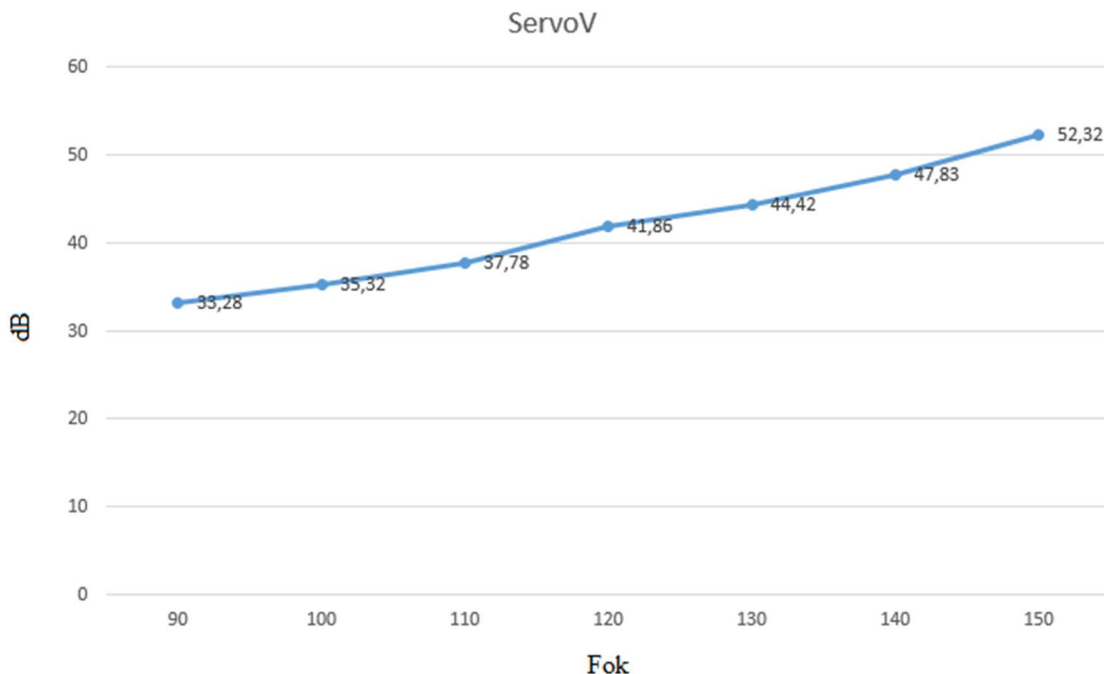


8.16. ábra: Horizontális szervó motor és a hozzá tartozó mikrofon tömb tesztelése



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

A következő tesztnél a vertikális szervó motort és a hozzá tartozó mikrofon tömböt teszteltem. Ennél a teszt esetén látszik, hogy a szervó motor fokai nőnek, ez azt jelenti, hogy a hangforrás az eszköztől magasabban, felfele volt.



8.17. ábra: Vertikális szervó motor és a hozzá tartozó mikrofon tömb tesztelése

Végül ennél a tesztnél mindkét szervó motort és mindkét mikrofontömböt teszteltem egyszerre. Itt is alaphelyzetből indult az eszköz, egy szemből nézve jobbra és felfele elhelyezkedő hangforrást használtam. Itt kicsivel nagyobb 20 fokos lépésmértéket alkalmaztam, hogy átlátható legyen az ábra.

		Horizontális szervó motor			
		90 fok	110 fok	130 fok	150 fok
Vertikális szervómotor	90 fok	34,32 dB	36,61 dB	38,31 dB	41,55 dB
	110 fok	36,32 dB	39,17 dB	43,38 dB	44,73 dB
	130 fok	37,94 dB	42,78 dB	45,76 dB	48,85 dB
	150 fok	40,17 dB	43,49 dB	47,54 dB	51,47 dB

8.18. ábra: Mindkét szervó motor és mindkét mikrofon tömb tesztelése



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom témájának az akusztikus kamerát választottam. A szakdolgozat elején egy pár oldalban megfogalmaztam egy rövid bevezetést, ahol röviden leírtam mi is az az akusztikus kamera. A bevezetés után az irodalomkutatás következik. Az irodalomkutatásban megmutatok számos, már a gyakorlatban használt profi akusztikus kamerát. Szem előtt tartottam azt, hogy minél szélesebb spektrumát bemutassam annak, hogy hol és hogyan is használják ezeket az eszközöket a felhasználók. A következő két fejezetben bemutattam, azokat a módszereket és algoritmusokat, amiket az előzőleg bemutatott akusztikus kamerák használnak. A szakdolgozat első felének utolsó fejezetében konklúziót voltam az addig bemutatott eszközök alapján, mit értek el ezek az akusztikus kameragyártó cégek és hol van még a jövőben hely a fejlődésre.

Ezek után következik a dolgozat második része, ahol bemutattam, hogy hogyan is tervezem megvalósítani ezt az eszközt a legjobb tudásom szerint. Először is egy rendszertervet készítettem, ahol leírtam, hogy milyen főbb elemeket használok a megvalósítás során. Továbbá vizualizáltam is a rendszertervet egy blokk séma segítségével. Az ez utáni fejezetekben bemutattam a megvalósítást. Ezekben a fejezetekben képekkel és magyarázatokkal mutattam be, hogy hogyan is valósítottam meg az eszközt, mind hardver, mind szoftver oldalról. Végezetül pár tesztesetet mutatok be az eszköz működése közben.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

10. SUMMARY

I chose the acoustic camera as the topic of my dissertation. I made a brief introduction in a few pages, where I described what an acoustic camera is. The introduction is followed by the literature research. In the literature research, I show a number of professional acoustic cameras, already used in practice. I wanted to show the widest possible spectrum of where and how users use these devices. In the next two chapters, I have presented the methods and algorithms used by the acoustic cameras previously presented. In the last chapter of the first half of the dissertation, I came to a conclusion based on the devices presented so far, what these acoustic camera companies have achieved and where is room for improvement in the future.

This is followed by the second part of the dissertation, where I have shown how I planned to implement this device to the best of my knowledge. First, I made a system design that described what key elements I would use in the implementation. I also visualized the system design using a block diagram. In the chapters that follow, I presented the implementation. In these chapters, I have shown with pictures and explanations how I implemented the device, both in terms of hardware and software. Finally, I present a few test cases while the device is operating.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] acoustic-camera.com: 2D Outdoor Measurement of a wind turbine,
(<https://www.acoustic-camera.com/en/applications/wind-turbine.html>) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [2] acoustic-camera.com: Building Acoustics,
(<https://www.acoustic-camera.com/en/applications/building-acoustics.html>) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [3] acoustic-camera.com: Data recorder mcdRec,
(<https://www.acoustic-camera.com/en/products/data-acquisition/data-recorder-mcdrec.html>) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [4] acoustic-camera.com: Microphone Arrays,
(<https://www.acoustic-camera.com/en/products/microphone-arrays.html>) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [5] acoustic-camera.com: Sound Analysis,
(<https://www.acoustic-camera.com/en/applications/sound-analysis.html>) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [6] Norsonic: Norsonic Hextile,
(https://web2.norsonic.com/product_single/acoustic-camera/) utoljára megtekintve: 2020.05.16.
- [7] Belcher E.O., Fox W.L.J., Hanot W.H.: Dual-frequency acoustic camera: a candidate for an obstacle avoidance, gap-filler, and identification sensor for untethered underwater vehicles. *OCEANS '02 MTS/Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 1., pp. 1-20, 2002
- [8] Brown R. S., Hop H., Moulton L., Mueller R. P.: Video and acoustic camera techniques for studying fish under ice: a review and comparison. *Reviews in Fish Biology and Fisheries volume*, Vol. 16., pp. 213-226, 2006.
- [9] Carlson, T. J., Moursund R. A., Peters R. D.: A fisheries application of a dual-frequency identification sonar acoustic camera. *Elsevier Science Ltd: ICES Journal of Marine Science*, Vol. 60., Issue 3, pp. 678-683, 2003.
- [10] Castellini P., Martarelli M.: Mechanical Systems and Signal Processing. *Elsevier*, Vol. 22., pp. 672-692, 2008.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

- [11] Fedorko G., Liptai P., Molnár V.: Proposal of the methodology for noise sources identification and analysis of continuous transport systems using an acoustic camera. *Elsevier: Engineering Failure Analysis* Vol., 83., pp. 30-46, 2018.
- [12] Andersen P. A., Hansen R. K.: A 3D Underwater Acoustic Camera - Properties and Applications. *Springer New York, NY: Acoustical Imaging* Vol. 22., pp. 607-611, 1996.
- [13] Studer C., Zimmermann B.: FPGA-based real-time acoustic camera prototype. *Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol.1., pp. 1-4, 2010.
- [14] Gnitecki J., Moussavi Z.: Variance fractal dimension trajectory as a tool for hear sound localization in lung sounds recordings. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol. 1., pp. 1-7, 2003.
- [15] Döbler D., Heilmann G.: Perspectives of the Acoustic Camera. *The 2005 Congress and Exposition on Control Engineering*, Vol. 1., pp. 1-8, 2005.



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra: Bosch kutatás	11
2.2. ábra: Halászati alkalmazás	12
2.3. ábra: Halászati alkalmazás	12
2.4. ábra: Szélturbina	13
2.5. ábra: EVO Array	14
2.6. ábra: Akusztikus kamera képe	15
2.7. ábra: Array Sphere 120	16
2.8. ábra: Stadion meccs előtt	17
2.9. ábra: Stadion meccs közben	17
2.10. ábra: Star48 AC Pro	18
2.11. ábra: Akusztikus kamera képe	18
2.12. ábra: Array Ring 48	19
2.13. ábra: Vonatkerek hangszintje	19
2.14. ábra: Vonat utasterébe beszivárgó hangok szintje	20
2.15. ábra: Array Sphere 120	20
2.16. ábra: Sphere48 az utastérben	21
2.17. ábra: Mikado akusztikus kamera előlről	22
2.18. ábra: Mikado akusztikus kamera hátulról	22
2.19. ábra: Paddle 2x52 AC Pro	23
2.20. ábra: mcdRec adatgyűjtő	23
2.21. ábra: Fibonacci120 AC Pro	24
2.22. ábra: Norsonic Hextile	25
2.23. ábra: Norsonic Hextile használat közben	26
3.1. ábra: fázistolás számítása	2727
6.1. ábra: Séma a főbb elemekről	31
7.1. ábra: Mikrofonok bekötése	32
7.2. ábra: Szervó motorok bekötése	33
7.3. ábra: Mikrofontömbök megvalósítása szemből	34



NEUMANN JÁNOS INFORMATIKAI KAR

7.4. ábra: Mikrofontömbök megvalósítása hátulról.....	35
7.5. ábra: Mikrofontömbök szemből, hang izolációval	36
7.6. ábra: Arduino panel és bekábelezése	37
8.1. ábra: A szoftver folyamatábrája.....	38
8.2. ábra: Rendszer alapállapota	39
8.3. ábra: Felső mikrofon tesztelése.....	39
8.4. ábra: Alsó mikrofon tesztelése.....	39
8.5. ábra: Jobb mikrofon tesztelése.....	39
8.6. ábra: Bal mikrofon tesztelése.....	39
8.7. ábra: Felső mikrofon frekvencia érzékenysége	40
8.8. ábra: Alsó mikrofon frekvencia érzékenysége.....	40
8.9. ábra: Jobb mikrofon frekvencia érzékenysége.....	41
8.10. ábra: Bal mikrofon frekvencia érzékenysége.....	41
8.11. ábra: Szervó motorok alaphelyzete.....	42
8.12. ábra: Szervó motor állapota, amikor a felső mikrofon jele a nagyobb	42
8.13. ábra: Szervó motor állapota, amikor az alsó mikrofon jele a nagyobb.....	42
8.14. ábra: Szervó motor állapota, amikor a jobb mikrofon jele a legnagyobb.....	42
8.15. ábra: Szervó motor állapota, amikor a bal mikrofon jele a legnagyobb	42
8.16. ábra: Horizontális szervó motor és a hozzá tartozó mikrofon tömb tesztelése.....	43
8.17. ábra: Vertikális szervó motor és a hozzá tartozó mikrofon tömb tesztelése.....	44
8.18. ábra: Mindkét szervó motor és mindkét mikrofon tömb tesztelése	44