

Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar

SZAKDOLGOZAT

Csiba Gábor

**Műszaki Tudományi Kar
Villamosmérnöki BSc szak**

2015

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR
TÁVKÖZLÉSI TA
NSZÉK

SZAKDOLGOZAT

Alternatív hangátalakító megvalósítása FBG szenzorokkal

Csiba Gábor

Villamosmérnöki BSc szak

Győr, 2015

Feladatkiírás

Szakdolgozat címe: Alternatív hangátalakító megvalósítása FBG szenzorokkal

Hallgató neve: Csiba Gábor

Szak: Villamosmérnöki szak

Képzési szint: BSc

A szakdolgozat feladat leírása:

- Optikai FBG szenzorok hangszerba való építése, majd ezek vizsgálata egy optikai spektrométerrel (FFT).
- Szenzorok pozíciójának optimalizálása a mért eredmények alapján.
- Jelátalakítás megvalósítása hangalakká.
- Hangjelek vizsgálata, összehasonlítása a hagyományos rögzítési módszerekkel.

Győr, 2015

belső konzulens

tanszékvezető

Értékelő lap

Szakdolgozat címe: Alternatív hangátalakító megvalósítása FBG szenzorokkal

Hallgató neve: Csiba Gábor

Szak: Villamosmérnöki szak

Képzési szint: BSc

A szakdolgozat beadható / nem adható be: (a nem kívánt rész törlendő)

dátum

aláírás (belső konzulens)

A szakdolgozat bírálatra bocsátható / nem bocsátható: (a nem kívánt rész törlendő)

dátum

aláírás (tanszékvezető)

A bíráló:

- Neve: Ing. Kósa Árpád
- Munkahelye: Slovenská Technická Univerzita, Bratislava
- Beosztása: Doktorens

A bíráló javaslata:

dátum

érdemjegy

aláírás (bíráló vagy tszv.)

A belső konzulens javaslata:

dátum

érdemjegy

aláírás (belső konzulens)

A ZVB döntése:

dátum

érdemjegy

aláírás (ZVB elnök)

Nyilatkozat

Alulírott, Csiba Gábor Villamos mérnöki szakos hallgató kijelentem, hogy az Alternatív hangátalakító megvalósítása FBG szenzorokkal című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

dátum

hallgató aláírása

Tartalom

1	Bevezető	2
2	Hangátalakítás, stúdiótechnika	3
2.1	Mikrofonok.....	3
2.1.1	Szén mikrofonok	3
2.1.2	Dinamikus mikrofonok	3
2.1.3	Kondenzátor mikrofonok	4
2.2	Mikrofonkarakterisztikák	4
2.2.1	Gömb karakterisztika	4
2.2.2	Kardiod karakterisztika	5
2.2.3	Szuper kardiod karakterisztika.....	5
2.3	Hangszedők	6
2.3.1	Elektrodinamikus hangszedő	6
2.3.2	Piezo hangszedő	7
2.4	Előerősítők, hangkártyák.....	8
2.5	A-D átalakítás.....	8
2.6	Mintavételezés.....	8
2.7	Kvantálás	8
2.8	Kódolás.....	9
2.9	Hangkártyák	9
3	Optikai szálak szenzorok	10
3.1	Optikai szál.....	10
3.1.1	Multimódusú szálak	10
3.1.2	Gradiens indexű optikai szálak	10
3.1.3	Monomódusú szálak	11
3.2	Diszperziók.....	11
3.3	Fiber Bragg Grating	11
3.3.1	Detektálás módszerei	13
4	Gítár szenzorozása	15

4.1	Szenzorok elhelyezkedése.....	15
4.1.1	Testfelszíni szenzor.....	16
4.1.2	Testfelszíni szenzor fém lapon.....	16
4.1.3	Testen áthaladó szenzor	16
4.2	Első mérések	18
4.2.1	Mérőműszer - FBG Scan S-line 800D	18
4.2.2	FBG szenzor - SG-1 Strain gauge.....	18
4.3	Mért adatok	20
4.3.1	Mozgó átlagolás – Floating average	21
4.3.2	Bináris kódolás.....	22
4.3.3	Waveform audio format - WAV	23
4.4	Hagyományos hangrögzítés	26
4.4.1	Mikrofonok	26
4.4.2	M-audio Fast Track Pro	26
4.5	Smart Scan Dynamic FBG Interrogator	29
4.6	Hangvillamérések.....	34
5	Összegzés	36
6	Kiértékelés	38

1 Bevezető

Munkám során mindenképp szerettem volna stúdiótechnikai témakörben tevékenykedni, hangfelvételek készítésével, editálásával. Elég tág témakör, ezért sok mindent számba vehettem. Régebb óta dolgozom ilyen közegben ezért volt rálátásom a jelen kor technikájára, valamint témaköreire. Egy hagyományos alnico gitár hangszedő megtervezésében, elkészítésében gondolkodtam, végül egy sokkal érdekesebb alternatív hangszer hangszedő megvalósításába vágtam a fejszém. Mindenképp valami innovatív dolgot kerestem, ezért el kellett szakadnom a hagyományos megoldásoktól.

Egy teljesen más témakörhöz nyúltam a megoldáshoz, az optikai szenzorok világához. Ezeket az FBG (Fiber Bragg Grating) szenzorokat jelenleg rengeteg más funkcióban használják szerte a világon, orvostudományban, építészetben, stb. Nagy érzékenységüknek köszönhetően rendkívül részletes jeleket tudnak közvetíteni, akár gyors mechanikai elváltozásokról is. Innen jött az ötlet, hogy ez az elváltozás lehetne akár egy felület rezonálása is. Mint tudjuk, az akusztikus hangszerek mind valamilyen testben keltett rezonancia által hoznak létre akusztikus jeleket. Ezeket a hang jeleket szerettem volna detektálni az FBG szenzorokkal, valamilyen hangszerbe építve.

Először egy hagyományos elektromos gitárra esett a választás, ami teljesen átlagos, a mai gitárok nagy százalékában található hangszedőket tartalmazott, így összehasonlítási alapként és tökéletesen szolgált volna a hangszer. A későbbiekben viszont inkább egy klasszikus akusztikus gitárnál értünk el nagyobb sikereket. Valójában bármilyen vonós, húros, fúvós hangszerbe beépíthettünk volna a szenzorunk, az én választásom esett pont a gitárra.

A szenzorokból kinyert jeleket mindenképp szükségesnek tartottam szabványos wave formátumra hozni, hogy később bármilyen ma használatos recording/mastering programban editálható alakra hozzuk. Végeredményképpen egy új működő hangszedő típus létrehozása volt a cél, amit össze tudunk hasonlítani a jelenlegiekkel, bizonyos paraméterekben akár le is körözni őket.

2 Hangátalakítás, stúdiótechnika

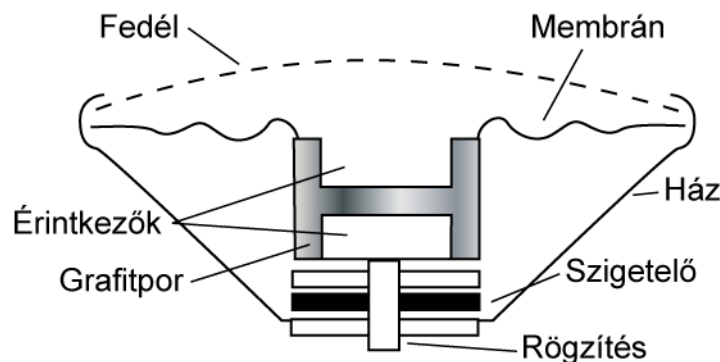
A jelenlegi stúdiótechnika alapja az akusztikai hangok elektromos jellé való átalakításából, majd bedigitalizálásából áll. Az első része is több részre oszlik, hiszen a hangok elektromos jellé való átalakítása is történhet különböző mikrofonokkal (dinamikus, kondenzátor), vagy hangszedőkkel (piezo, elektrodinamikus). A választás ezen eszközök közül is több mindentől függhet. Bizonyos hangszereknél nem alkalmazhatunk hangszedőket a kialakításuk miatt, ilyenkor a hangszerhez megfelelő mikrofont kell választanunk, ami alatt azt értem, hogy egy frekvenciatartományban és hangnyomásban is illeszkedő mikrofonra lesz szükségünk. Vannak viszont olyan esetek is mikor a mikrofon használat nem válik be, például olyan hangszereknél ahol nagyon kicsi a hangszer akusztikai hangja, ilyenkor célszerű hangszedőt használunk.

2.1 Mikrofonok

A mikrofonok, a mi esetünkben a levegőben terjedő hangrezgéseket alakítják át egy membrán segítségével. Egy úgy történik, hogy hang hatására a membrán rezegni kezd és ezt a rezgést alakítja át elektromos jellé. Ez az átalakítási folyamat többféleképpen is történhet, ami a mikrofon típusától függ.

2.1.1 Szén mikrofonok

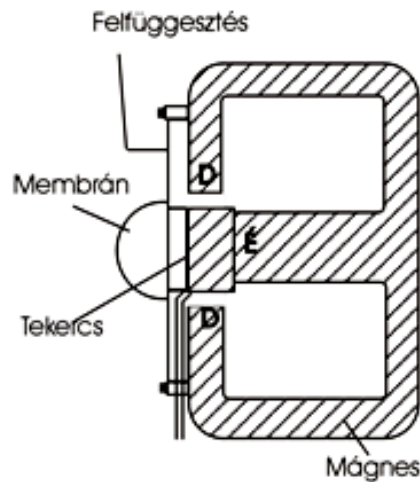
Az első mikrofonok egyike, távbeszélő-készülékeknél használták. Ezen mikrofonok működését úgy képzeljük el, hogy a membránunk rezgésével egy ellenállás értékét változtattunk, amit a membrán alatt elhelyezkedő szén vagy grafit porral értünk el. Az ellenállás értéke a szén szemcsék összenyomásának nem lineáris függvényében változik. Állandó áramforrást igényelt.



2.1. ábra Szén mikrofon keresztmetszete

2.1.2 Dinamikus mikrofonok

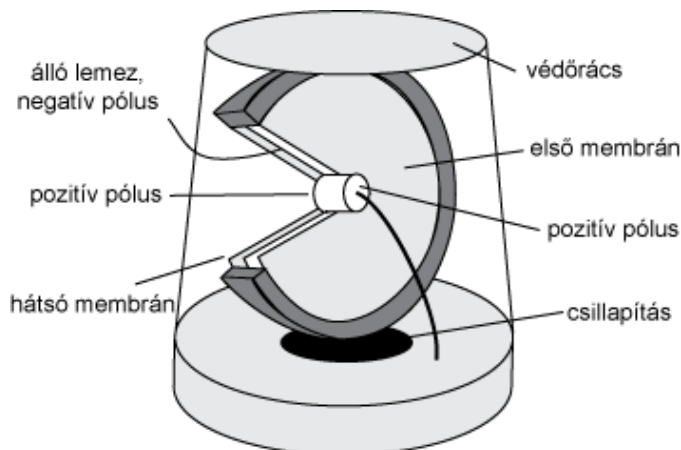
Elődjéhez képest már nem igényelt áramforrást, valamint sokkal jobb paraméterekkel is rendelkezett. Ennél a mikrofon típusnál a membránhoz egy tekercs van erősítve, ami egy mágnes körül helyezkedik el. Rezgés hatására a tekercsben az elektromágneses indukció hatására feszültség indukálódik. Széles körben elterjedt mikrofonról van szó, akár stúdióban, vagy élő hangosításnál.



2.2. ábra Dinamikus mikrofon keresztmetszete

2.1.3 Kondenzátor mikrofonok

A dinamikus mikrofonokhoz képest sokkal nagyobb érzékenységük van, ezért a stúdiókban is közkedveltebbek. Ebben az esetben egy álló és egy mozgó membrán található a mikrofonunkban, ami kondenzátorként viselkedik, ezért külső táplálást is igényel. A membránok közti levegő a dielektrikum, ami rezgés hatására változik, így hozva létre a feszültség változást. Térmikrofonként is emlegetik.



2.3. ábra Kondenzátor mikrofon keresztmetszete

2.2 Mikrofonkarakterisztikák

A mikrofonok jellemző tulajdonságai közé tartozik az iránykarakterisztikája. Ez határozza meg ugyanis, hogy az adott mikrofon milyen irányból, milyen érzékenységgel rendelkezik. Különböző karakterisztikájú mikrofonokat, különböző felhasználási területeken alkalmazunk.

2.2.1 Gömb karakterisztika

Mikrofonok e típusa minden irányból ugyan akkora érzékenységgel veszi a jeleket, persze csak ideális esetben. Főként termék felvételeinél használják, vagy

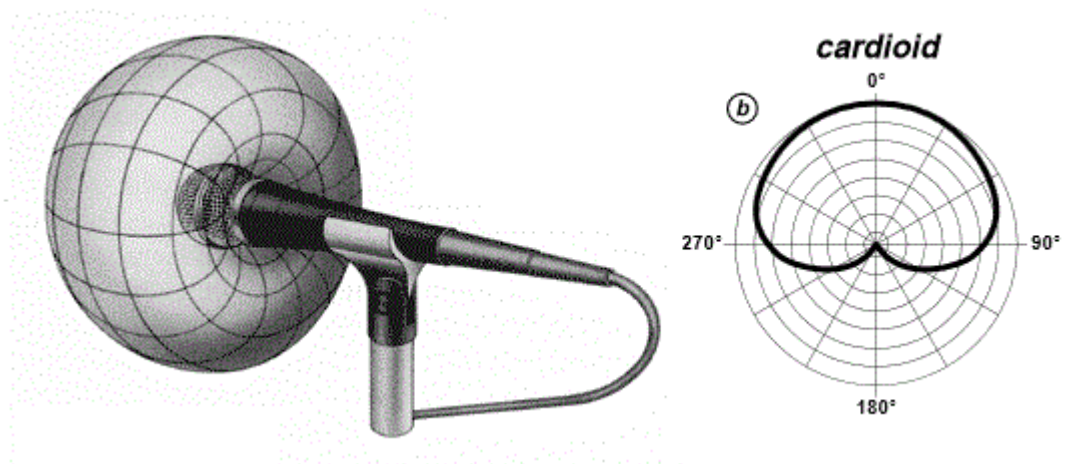
beszélgetések rögzítésére, rádióknál közkedvelt mikrofon, valamint kalibrációs mérőmikrofonként is használják.



2.4. ábra Gömb karakterisztika térbeli ábrázolása

2.2.2 Kardioid karakterisztika

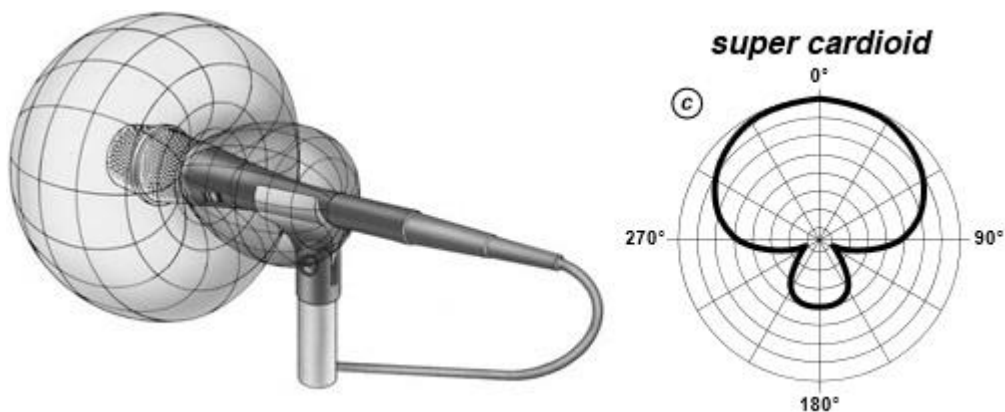
Elnevezését a karakterisztikájának formájáról kapta, amiből jól látszik, hogy főként egy irányra érzékeny. Ennek előnye, hogy irányítottan beállítva csak onnan érkező hangokat vesz, kiszűrve a külső zajokat.



2.5. ábra Kardioid karakterisztika térbeli ábrázolása

2.2.3 Szuper kardioid karakterisztika

A kardioidhoz nagyon hasonló a karakterisztikája, a különbség abban mutatkozik, hogy nem csak az előlről, de kis mértékben a hátulról érkező jeleket és érzékeli. Specifikus esetekben használják.



2.6. ábra Szuper kardioid karakterisztika térbeli ábrázolása

2.3 Hangszedők

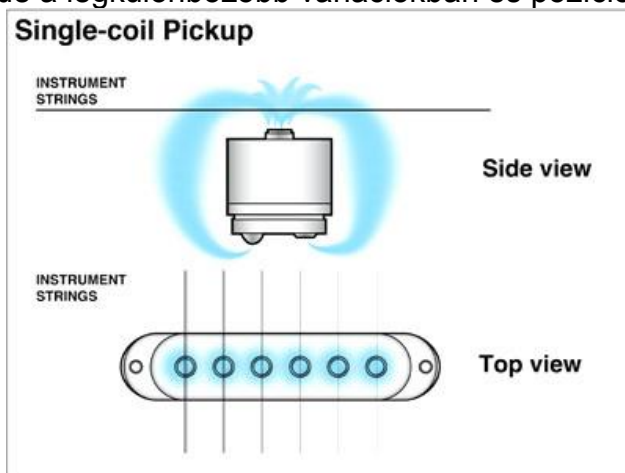
Mint már említettem, vannak esetek mikor mikrofon helyett hangszedőket használunk. Ezek közül találkozhatunk olyanokkal, amik már a hangszerbe építve találhatóak, és olyanokkal is, amik csak ideiglenesen lettek a hangszeren elhelyezve. Általában a hangszedők specifikusan a hangszer paramétereire igazítva készülnek.

2.3.1 Elektrodinamikus hangszedő

Ezek a legelterjedtebb hangszedő típusok a mai gitárgyártásban. A dinamikus mikrofonokhoz hasonlóan az átalakítás itt is a mágneses indukció elvén alapul. A fém húrok rezgését egy mágnes mag körül elhelyezkedő tekercsben indukálódó feszültség írja le. A mágnesek a húrok alatt helyezkednek el, és pozíciójuk változtatásával különböző hangkaraktert hozhatunk ki hangszerünkéből.

2.3.1.1 Single coil hangszedő

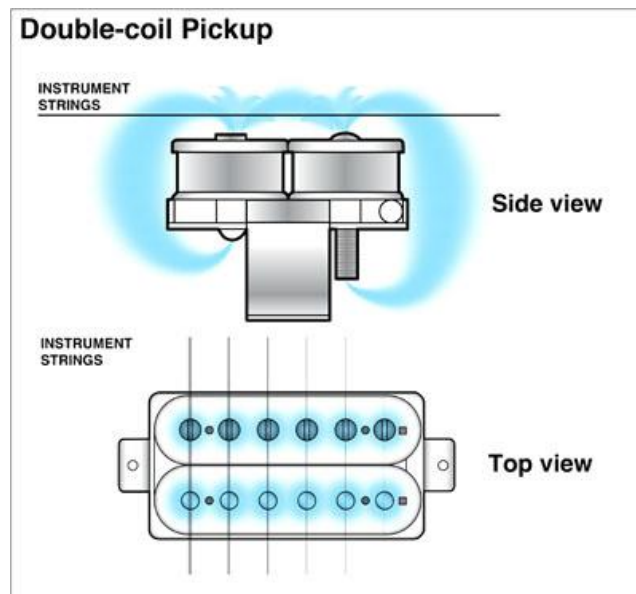
Ahogy a neve is mutatja, egy szimpla tekercsről beszélünk, ami körülöleli a mágnes rúdjaikat. Tipikusan magasabb hangtartományra érzékenyebb, viszont zajérzékenyebb is. Leggyakrabban a Fender Stratocaster típusú gitárokból találkozunk velük, de a legkülönbözőbb variációkban és pozíciókban is használják.



2.7. ábra Single coil oldal és felülnézete

2.3.1.2 Humbucker hangszerő

A single coil-hoz képest mélyebb hangzású hangszedő, és a zajokra sem annyira érzékeny. Kimeneti jelszintje is magasabb, keményebb zenei stílusok kedvelőinek körében elterjedtebb hangszedő. Ez a típus tipikusan Gibson Les Paul gitárokból terjedt el. Single coilal kombinálva rengeteg hangzás hozható ki belőlük.



2.8. ábra Humbucker oldal és felülnézete

2.3.1.3 Specifikus hangszedők

A két fő típuson kívül léteznek még atipikus hangszedők is, melyek új hangzások kikísérletezésének gyümölcsei. Nem annyira elterjedtek, mint elődeik, viszont érdemes párat közülük megemlíteni. Ilyen például a *P90*-es hangszedő, ami lényegében egy duplán tekercselt single coil hangszedő. Szintén kisebb a zajérzékenysége, valamint a kimeneti jelszintje is nagyobb. A *mini humbucker* egy olyan dulpá tekercs, ami a single soil hangzást hivatott utánozni. Méretei is kisebbek és a magasabb tónusokra érzékenyebb. Extrém esetben találkozhatunk *triplebucker* hangszedővel, ami ahogy a neve is mutatja három single coil összetekercselve. Végül pedig léteznek kombinált hangszedők, ami például tartalmaz egy single coil-t és egy *P90*-et majd ezek összekapcsolásával kapunk humbuckert, majd egy kapcsolóval válthatunk a hangszedők közt. Ilyen példa a Seymour Duncan cég terméke a *P-rails* hangszedő.

2.3.2 Piezo hanszedő

Működésük azon alapul, hogy a mechanikus elváltozást alakítják át elektromos jellé. Tipikusan a hangszerek húrláába építik bele, így detektálva a húrok mechanikus rezgését. Főként akusztikus hangszerekbe építik, mert szinte láthatatlan és nem kell megváltoztatni a hangszer felépítését sem a szerelés során. Nem minden hangszernél válik be ez a megoldás a hangzása miatt, ilyenkor választják a mikrofonos megoldást, ami élethűben adja vissza a hangszer hangját.

2.4 Előerősítők, hangkártyák

Miután megtörtént az akusztikus jel elektromos jellé való átalakítása, amit mikrofonokkal vagy hangszedőkkel értünk el, a jelek bedigitalizálására kerül sor. A hangszedők és mikrofonok esetében is mV-os jelszintekről beszélhetünk, ezért ezeket fel kell erősítenünk. Erre a célra előerősítőket használunk, amik a mikrofonból, illetve hangszedőnkéből érkező jelet, vonali szintre erősítik. Ez 0,755 és 1,55 V közti névleges feszültség. Erre a célra tipikusan műveleti erősítőket használunk.

2.5 A-D átalakítás

Ez a folyamat három fő részből áll. Az első a mintavételezés, ahol egy adott mintavételezési frekvenciával mintát veszünk az időben folytonos jelünkből. Ezután ezeket a mintákat kerekítenünk kell egy bizonyos kvantálási lépcső alapján, majd az így kapott számokat adott módszerrel elkódoljuk.

2.6 Mintavételezés

Mintavételezés során egy időben folytonos jelből veszünk mintát meghatározott időközönként. Természetesen minél több mintát veszünk annál részletesebb, jobb minőségű lesz a jel. Azt, hogy milyen legkisebb mintavételezési frekvenciát használjunk Shannon-féle mintavételezési törvény mondja ki.

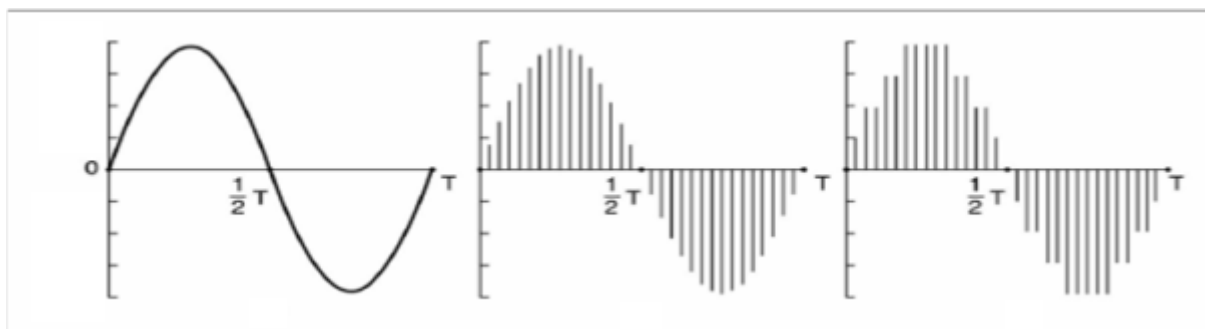
$$f_m \geq 2B \quad (1)$$

f_m – mintavételezési frekvencia

B – jel sávszélessége

2.7 Kvantálás

A mintavételezett számaink akár végtelen hosszú tizedes jegyűek is lehetnek, ezért meghatározunk egy kvantálási lépcsőt, mely segítségével kerekíteni fogjuk ezeket a számokat. A CD 16 bites felbontást használ, ami azt jelenti, hogy 2^{16} lépcsőt határozzunk meg, viszont ma már ettől magasabb felbontásokat is használunk. A kvantálási torzítás egy olyan jelenség, mely során túl alacsony felbontást választunk és a kerekítés során a jel eltorzul. Ha a kvantálást egy bittel növeljük, a jel-zaj viszony 6dB-el javulni fog. Túl magas lépcsőfok számra sincs szükségünk, mert egy idő után a zajkomponenseket fogjuk kvantálni, amire nincs szükségünk.



2.9. ábra Folytonos jel mintavételezése és kvantálása

2.8 Kódolás

A legegyszerűbb a bináris kódolás, ahol a szám értékét átalakítjuk bináris számmá. Léteznek ettől sokkal bonyolultabb kódolási módszerek, melyek kiküszöbölik a szinkronvesztést, vagy a vonali jelszintet (NRZI, Manchester, stb.).

2.9 Hangkártyák

A mai stúdiótechnikában digitális rögzítésről beszélünk. Speciális esetekben használnak analóg felvételeket, de ezek rettentően drágák és digitálisan elég jó minőségben utánozható ez a hangzásvilág. Az analóg-digitális átalakítás után számítógépen rögzítjük, majd könnyedén végezhetünk bármilyen változtatást felvételeinken. Ezt az átalakítást hangkártyákkal oldjuk meg. Tipikusan USB csatlakozással rendelkeznek, de egyidejűleg nagyobb csatornarögzítés során már a gyorsabb FireWire (IEEE 1394), vagy Thunderbolt csatlakozókat használunk. Léteznek még különböző szabványok is, melyek sokkal több funkciót is kínálnak nekünk, mint a hangrögzítés: MADI, Dante, Ether Sound. Ezek tipikusan digitális keverőpultok kiegészítő kártyái, mellyel többsávós rögzítés mellett I/O stream-elést is felkínál nekünk. Munkám során egy négycsatornás M-audio Fast Track Pro típusú kártyát használtam a referencia mérések elkészítéséhez.

3 Optikai szálak szenzorok

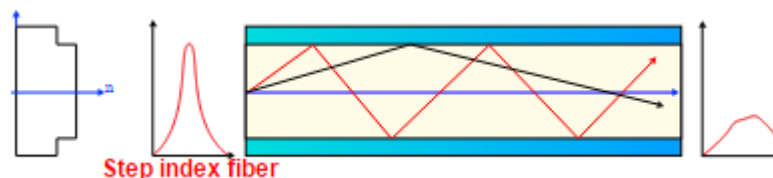
Az elektromos szenzorokat évtizedek óta használjuk mechanikus változások detektálására, annak ellenére, hogy rengeteg hátrányuk van, hogy csak párat említsek: átviteli veszteségek, interferenciák és zajérzékenység. Az optikai szenzorok tökéletes megoldást jelentenek e problémák kiküszöbölésére, hisz az átvitelre elektronok helyett fényt és közegként fémvezetők helyett üvegszálat használnak. Az elmúlt évtizedben rengeteget fejlődött az optoelektronika az üvegszálak minősége és árak terén is. Rengeteg területen kezdtek el üvegszálak technológiával kísérletezni, akár az orvostudományt, távközlést, vagy építészetet is említhetnénk.

3.1 Optikai szál

Az optikai szálak a teljes fényvisszaverődés elv alapját kihasználva üvegszálakon továbbítanak fényinformációkat. Leggyakrabban szilícium-dioxidból készül, speciális esetekben használnak fluoro-circonátot, fluoro-aluminátot, és tisztított üveget. Törésmutatója 1,5 körül alakul, akár csak a normál üvegnél. Felépítését tekintve egy néhány tíz mikrométeres magból áll, amit a héj ölel körül. A szálakban több fénysugár is közlekedik egyidejűleg, ezt úgy oldják meg, hogy a különböző fénysugarak más-más szögekben terjednek. Ezzel együtt viszont nő a fény által bejárt utak száma is és ezzel a diszperzió is. Ideális esetben a fény a magban terjed, viszont vannak más törésmutatójú szálak ahol a héjban is áthalad. Ez attól is függ, hogy az adott szál milyen módusú.

3.1.1 Multimódusú szálak

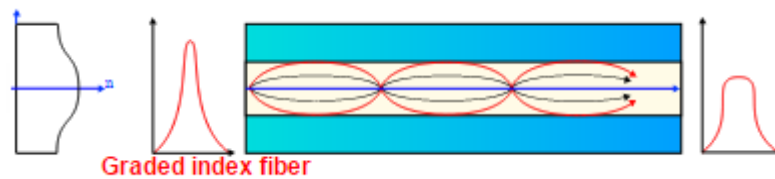
Méreteit tekintve 100 μm mag és 150 μm héj átmérővel rendelkeznek. Az első optikai szálak egyike. A fény a mag-héj határfelületéről visszaverődve több sugárban terjed. Módus diszperzióra érzékeny, ami a fény által a szálban bejárt utak hosszának eltéréséből adódik és jeltorzulást okoz. A tengellyel párhuzamosan haladó sugarak rövidebb utat tesznek meg, mint amelyek a tengellyel eltérő szöget zárnak be. Az efféle jeltorzulást lépcsős törésmutatójú optikai szálakkal oldják meg.



3.1. ábra Multimódusú szál kereszt,etszete

3.1.2 Gradiens indexű optikai szálak

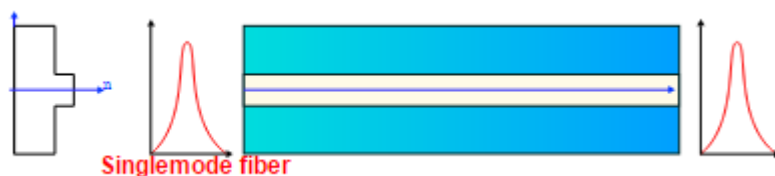
Ezeknél a szálaknál a mag mérete 50 és 62,5 μm és a 125 μm a héj átmérője. A mag törésmutatója a középpont felé haladva fokozatosan nő, amit többrétegű burkolással érnek el. A fény így nem visszaverődik a héjhoz érve, hanem fokozatosan elhajlik. A szálban így sokkal kevesebb módus jön létre, ezzel csökken a diszperzió mértéke is. Az ideális törésmutató profil nagyon közel van egy parabolikus függvényhez a törésmutató és a tengelytől való távolság között.



3.2. ábra Gradiens indexű szál kereszt,etszete

3.1.3 Monomódusú szálak

Itt a magátmérő $10\mu\text{m}$ alá kerül, ami a héj $125\mu\text{m}$ -hez képest már elég kicsi ahhoz, hogy a szálban csak egy módus alakulhasson ki. Így a módusdiszperzió mértéke minimálisra csökken. Ezzel azonban még nem küszöböltük ki más diszperziók lehetőségét.



3.3. ábra Monomódusú szál kereszt,etszete

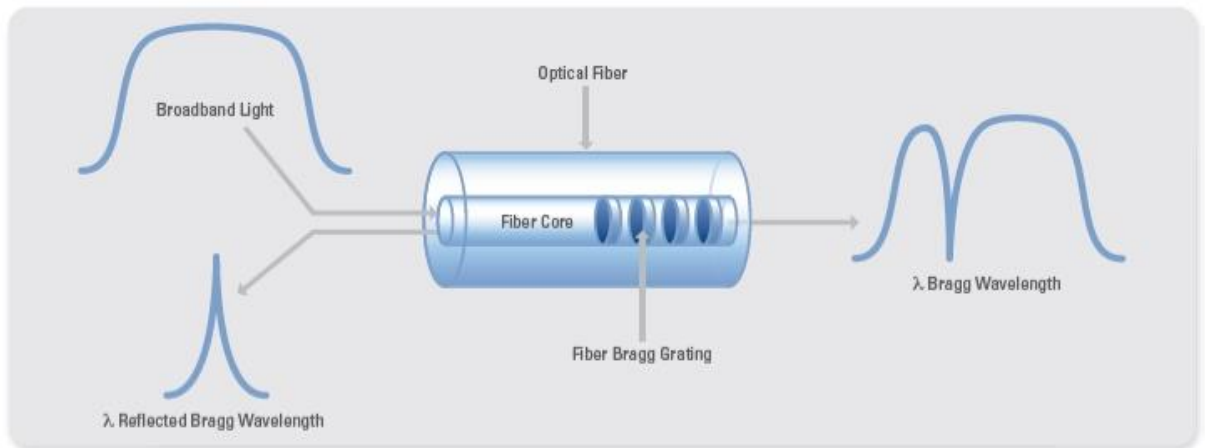
3.2 Diszperziók

A fentebb említett *módus diszperziót* a szálakban kialakuló visszaverődések csökkentésével tudjuk minimalizálni. *Anyagi diszperzió* esetében az üvegszálban található anyagi szennyeződésekbe ütköző sugarak útjának megváltozása okozza a jeltorzulást. Tipikus szennyezőanyagok a fém, valamint OH-ionok. *Alaki diszperzió*nál az üvegszál kör keresztmetszete helyett valamilyen ellipszis alakot kapunk, ahol a sugarak ismét más-más hosszúságú útvonalon terjednek diszperziót okozva.

3.3 Fiber Bragg Grating

Az egyik leggyakrabban használt és széles körben alkalmazott optikai érzékelők a szálba integrált úgynevezett Bragg rácsok. Ezek a rácsok a szálban adott hullámhosszúságú fényt reflektálnak. Ezt úgy érzük el, hogy egy periodikusan változó törésmutatót hozunk létre a magban, ami lényegében egy hullámhossz specifikus dielektromos tükröként viselkedik. Ez egy hullámhossz specifikus reflektor, vagy olyan optikai szűrő, mely bizonyos hullámhosszakat blokkol. A lenti összefüggésben λ_b a Bragg hullámhossz, n_{eff} periodikusan változó törésmutató effektív értéke a , Λ pedig a rácsok közti távolság, úgynevezett rács periódus.

$$\lambda_b = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (2)$$



3.4. ábra FBG szenzor keresztmetszete

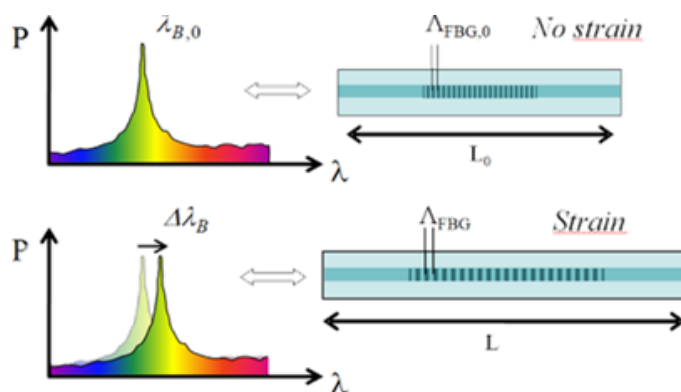
A Bragg hullámhossz a rácsok közti távolságok függvénye, ebből adódik, hogy különböző rácsperiódusok előállításával más-más hullámhosszúságú fényt tudunk reflektálni. A feszítési vagy hőmérsékletváltozás kihatással van szál törésmutatójára n_{eff} , valamint a rácsok közti távolságokra Λ . Ebből adódik, hogy a külső behatásra a visszavert hullámhossz eltolódhat.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = (1 - P_e) * \varepsilon + (\alpha_\Lambda + \alpha_{n_{eff}}) * \Delta T \quad (3)$$

Itt $\Delta\lambda$ az eltolott hullámhosszt jelöli, λ_0 pedig a kezdeti hullámhosszat. Az első kifejezés a feszítés által okozott hullámhosszváltozásokat írja le, ahol P_e az optikai-feszítési együttható. A második kifejezés a hőmérsékletváltozás függvényében történő hullámhosszváltozást definiálja, ahol α_Δ a hőtágulási együttható, α_n pedig a termo-optikai együttható. α_n a törésmutató változását írja le, míg α_Δ a rács tágulását.

Mivel a FBG szálunk hőmérsékleti és feszítési változásokra is reagál, így figyelembe kell vennünk a kettő egymásra hatását. Ha például hő érzékelési szenzorként használjuk, mindenképp olyan közeget kell teremtenünk, ahol nem feszülhet a szál, mivel ez befolyásolná a hullámhossz eltolódást. Az efféle szenzorok, speciális külső borítást kapnak az ilyen esetek elkerülése érdekében. Az üveg α_Δ tágulási együtthatója lényegében elhanyagolható, így csak az α_n termo-optikai együtthatónak köszönhető törésmutató változást kell figyelembe vennünk hőmérsékletdetektáláskor.

Feszítés detektáláskor kicsit bonyolultabb a helyzet, mivel nem csak feszítési, hanem hőmérsékleti változások is befolyásolják a hullámhossz eltolódást. Ezt a hőmérsékleti változót kell kikompenzálnunk. Ez úgy történik, hogy egy termo érzékelő FBG szenzort helyezünk el a feszítés érzékelő szenzorunk mellé. Ezután már csak ki kell vonnunk a hőmérsékleti szenzor hullámhosszeltolásának értékét a feszítéséből, így kapva meg a hőmérsékletkompenzált eredményt.



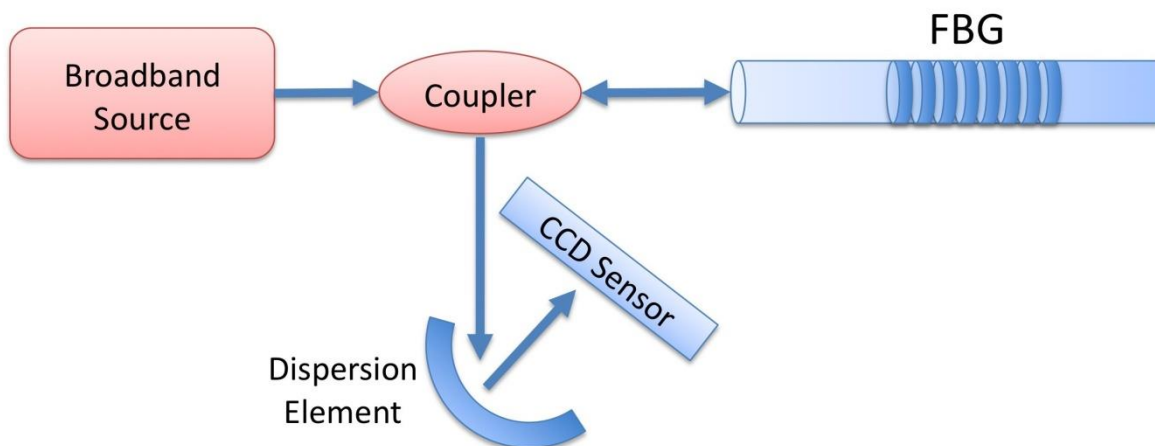
3.5. ábra FBG szenzor nyúlásérzékenysége

3.3.1 Detektálás módszerei

Azzal, hogy egyedi Bragg hullámhosszúságú FBG-eket hozunk létre a szálban, lehetőséget ad hullámhosszosztásos módszer (Wavelength Division Multiplexing) alkalmazására. Ez lehetővé teszi azt, hogy egy szálba több különböző Bragg hullámhosszú szenzort fűzzünk fel. A hullámhosszosztásos multiplexálás során minden szenzornak egyedi hullámhossz tartományt biztosítunk az optikai jel spektrumából. Az, hogy egy szálba maximálisan mennyi szenzort helyezhetünk el, függ a szenzorok hullámhossz tartományától, valamint a rendelkezésre álló detektáló hullámhossz tartományától. Feszítés során a hullámhossz eltolások mértéke nagyobb, mint hő érzékelésnél, ezért feszítésnél 5nm-es tartományt adunk meg szenzorunként, míg hő detektálásnál ez csak 1nm. Így egy szálba akár 80 szenzort is építhetünk, mindaddig, míg a reflektált hullámhosszak át nem fedik egymást a spektrumban.

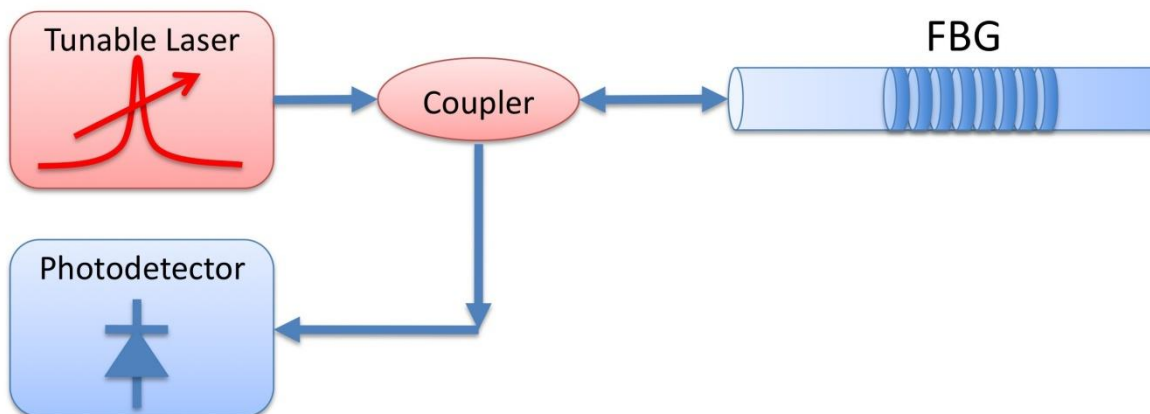
Az FBG szenzorok néhány nanométeres tartományban működnek, ezért olyan optikai detektorra lesz szükségünk mely képes akár pikométeres vagy ettől kisebb érzékelésre is. Több módszer közül is választhatunk optikai detektálás terén. Interferométereket leggyakrabban laboratóriumi körülmények között végzett nagy felbontású optikai spektrumméréseknél használják. Ezek a berendezések elég drágák, nagyok és nem alkalmasak mobil mérésekre.

Ebben az esetben egy töltés-csatolt eszközt (Charge Coupled Device) és egy rögzített diszperzív elemet használunk. Gyakran hullámhossz pozíciójú konvenciónak is nevezik. Egy szélessávú forrással világítjuk meg az FBG szenzorunkat, a reflektált fénycsugárakat a diszperzív elem szétosztja különböző hullámhosszúságú összetevőkre, melyek a CCD érzékelő különböző pontjaira vetődik. Ez a módszer elég gyors szimultán mérésekre is képes egy szálon több FBG szenzoron, viszont korlátozott felbontást és jel-zaj viszony biztosít. Például egy 1pm-es eltoláshoz 80nm-es tartományban egy lineáris CCD-vel 20 ezer pixelre lenne szükségünk. Továbbá a szélessávú forrás teljesítménye szétszóródik hullámhossz tartományban, kis energiájú FBG reflexiókat létrehozva, amelyeket nehéz detektálni.



3.6. ábra CCD szenzoros detektálás

Egy másik, hatékonyabb módszer esetében egy hangolható szűrő segítségével hozunk létre gyors és nagy teljesítményű pásztázó lézer sugarat, a gyengébb szélessávú fényforrás helyett. Ez a hangolható lézer szűk sávra tudja koncentrálni az energiáját, amivel egy nagy teljesítményű fényforrást kapunk kiváló jel-zaj viszonytal. Az érzékelésre foto detektoros megoldást használ. Mikor a hangolható lézer hullámhossza megegyezik az FBG szenzor Bragg hullámhosszával, a foto detektor a megegyező választ látja. Ez a módszer akár 1 pm-es pontosságot is biztosíthat nekünk, valamint a nagy teljesítményű lézernek köszönhetően akár 10km-es szálon is dolgozhatunk.

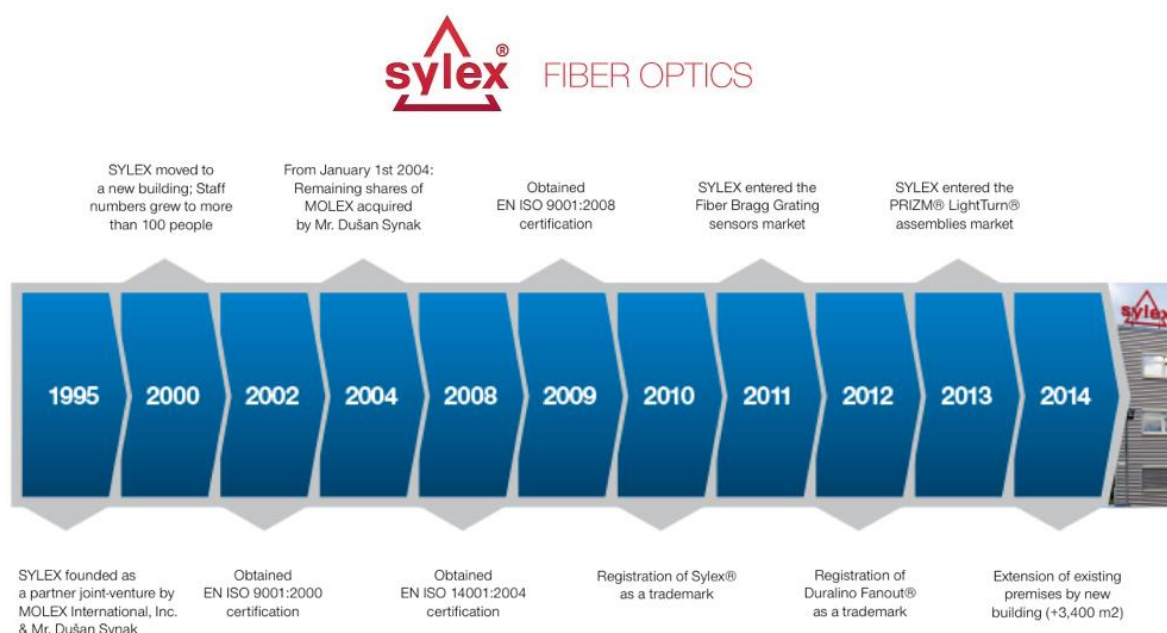


3.7. ábra Pásztázó lézeres detektálás

Mint már említettem az optikai érzékelők több ponton is jobban teljesítenek az elektromos szenzoroknál. Az optikai szál nem vezető anyagból készül, elektromosan passzív, így immunis a külső zavaró elektromágneses hullámokra. Nagy teljesítményű lézerek használatával nagy távolságokat is áthidalhatunk lényegesebb jelvesztések nélkül. Kisebb mérettel, súllyal és mérés komplexitással is rendelkeznek.

4 Hangszer szenzorozása

Méréseimet a pozsonyi székhelyű Sylex cégnél, végeztem. A cég 1995-ben alakult és 2011 óta foglalkoznak FBG szenzorokkal. Jelenleg fő profiljuk közé tartozik az FBG szenzorok gyártása, telepítése és monitorozása. Nagy hangsúlyt fektetnek fejlesztésekbe is, ezért vették pozitívan innovatív felkérésemet is. Rendelkezésemre bocsájtottak három szenzort, vezetékezést, csatlakozókat és nem utolsósorban mérőberendezéseket. Külső konzulensem Patassy Gábor mindenben segítségemre volt, mellette rengeteg új tapasztalatot szereztem az optikai szenzorok területén.



4.1. ábra Sylex cég története

A munkát megelőzően be kellett szereznem egy a célnak megfelelő hangszert, amibe könnyedén telepíthetjük szenzorjainkat. Először egy Yamaha Pacifica 112-es típusú alacsonyabb kategóriás elektromos gitárra esett a választás. Egy teljes elektronikával ellátott működő hangszerről volt szó, mely az összehasonlítás céljából optimális volt számunkra. A kezdeti mérések során egy a felületen elhelyezett szenzort kötöttünk a mérőberendezésünkre. Hamar rájöttünk, hogy a hangszer teste nem rezonál kellő mértékkel, hogy azt érdemben detektálni tudjuk. Nagy jel-zaj viszonyba ütköztünk. Emiatt egy klasszikus akusztikus gitárra váltottunk, mely lényegesen nagyobb rezonanciával rendelkezett, hisz maga a húr és test rezgésével állít elő hallható akusztikus hangot.

4.1 Szenzorok elhelyezkedése

Miután megtaláltuk a megfelelő hangszert, a szenzorok pozícióját kellett optimalizálni. Három szenzor állt rendelkezésünkre, így mindhármát más-más elhelyezésben helyeztünk el a gitáron a megfelelő jelszint detektálása érdekében.

4.1.1 Testfelszíni szenzor

Az első és leglogikusabb elhelyezést magára a gitártest felületére erősítettük. Pozícióját tekintve a gitárdob közepén a húrok alatt rögzítettük. Sajnos nem értük el a kellő minőséget. Mérőberendezésünk ugyan megjelenítette spektrumban a jelet, viszont még így is túl nagy jel-zaj viszonyal küszködtünk.

4.1.2 Testfelszíni szenzor fém lapon

Az előző felfogatási módszert próbáltuk feljavítani úgy, hogy a szenzort egy fém lapra erősítettük, majd annak egyik végét rögzítettük a hangszerre. Ezzel nagyobb rezonanciát értünk el, hisz a test rezgését felvéve tovább rezgett, mint maga a hangszer felülete. A gitár húrlábához közel rögzítettük a szenzort. Az előző mérésekhez képest jobb jelszintet értünk el, spektrumban is javult a jel, de így sem érte el a kellő mértéket.

4.1.3 Testen áthaladó szenzor

A legmagasabb jelszintet egy bonyolultabb felfüggesztési móddal sikerült elérnünk. A gitár alsó és felső fedőlapja között feszítettük ki a szenzorunkat. Át kellett fúrni a hangszer testét merőlegesen a testtel, majd egy állítható befogó részt illeszteni a lyukakba. Így állítani is tudtuk a feszítés mértékét. A testfelszíni elhelyezéshez képest lényeges jelszint növekedést értünk el, ami tökéletesen megfelelt az elvárásainknak.



4.2. ábra Elektromos gitár szenzorozása



4.3. ábra Akusztikus gitár szenzorozása



4.4. ábra Szenzorok elhelyezkedése

A három szenzorpozíció közül csak az utolsó testen áthaladó szenzorral tudtunk érthető hangalakot detektálni. Igaz, hogy spektrumban mindhárom módszerrel észleltük a jelet, de a magas jel-zaj viszony miatt nem felismerhető

hangalakot kaptunk. Későbbiekben már csak ezt az egy szenzorpozíciót használtuk méréseink során.

4.2 Első mérések

4.2.1 Mérőműszer - FBG Scan S-line 800D

Méréseink során az FBG Scan S-line 800D típusú mérőberendezést használtuk. Szálanként 75 szenzort képes detektálni csatornánként, valamint dinamikus és statikus mérésekre is képes. Működési elvét tekintve a CCD detektorral rendelkezők közé tartozik. Vezérlése a Sentinel S-line 1.0 szoftverrel történik, ahol az adatgyűjtés valós idejű megjelenítése is megvalósul.



4.5. ábra FBG Scan S-line 800D

4.2.1.1 Technikai adatok

Csatornák száma	2
Mintavételezési frekvencia	2 kHz
Hullámhossz tartomány	75 nm (1515 – 1590 nm)
Abszolút hullámhossz pontosság	±40 pm
Szálankénti szenzorszám	75
Lézer osztály	(IEC 60825-1)

4.2.2 FBG szenzor - SG-1 Strain gauge

A hangszerbe egy nyúlásérzékelő SG-1 Strain gauge típusú FBG szenzort építettünk, amelyet főként fém vagy kompozit szerkezetek mechanikai elváltozásának méréseikor használnak. Különböző alkatrészek deformációit illetve rezgéseit monitorozzák vele.



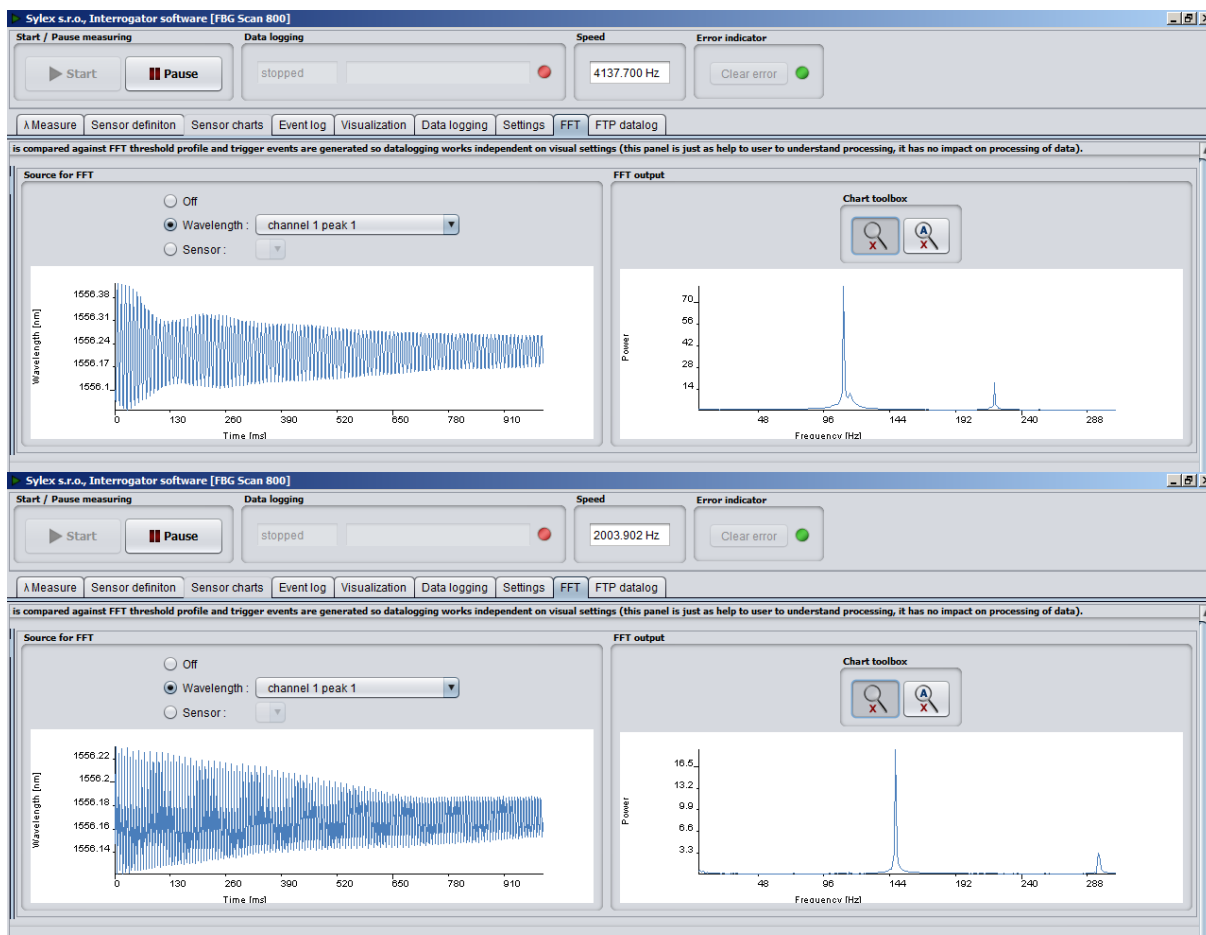
4.6. ábra SG-1 Strain gauge

4.2.2.1 Technikai adatok

Pontosság (általános)	0,10 % FS
Pontosság (garantált)	0,15 % FS
Külső hőmérséklet kompenzált hőmérséklet-tartomány	-20 °C-tól + 80 °C-ig
Ingress védelmi tartomány	IP 67
Kábel típus	900µm PVDF
Kábel hajlítási sugara (dinamikus)	30mm
Kábel hajlítási sugara (statikus)	15mm
Csatlakozó típusa	FC/APC

Elsősorban detektálni szeretnénk volna, hogy a szenzor képes-e megkülönböztetni a hangszerrel keltett hangmagasságok közti differenciát. Ugyan is ha bármilyen hang létrehozásával csak egy adott rezonanciát vesz fel a szenzorunk akkor az egész módszer működésképtelen. Úgy viselkedett volna, mint egy hangvilla mely csak egy adott frekvencián képes rezegni. A Sentinel S-line 1.0 szoftverben két ablakban tudtuk követni a szenzor jeleit. Az elsőben egy idő/hullámhossz, a másodikban pedig frekvencia/amplitúdó grafikont kaptunk valós időben.

A mérésekből kiderült, hogy a hangszeren lejátszott hangok függvényében a frekvencia síkjában elmozdul a jel. Ez bizonyítja, hogy a szenzorunk nem egy adott frekvencián kezd el rezonálni, hanem képes megkülönböztetni a hangszeren lejátszott hangok közti hangmagasságot. A hangok felharmonikusait is detektálni tudjuk, ugyanis ezek is szépen kirajzolódtak a grafikonunkon. Először egy A hangot, majd egy magasabb C hangot játszottunk le a hangszeren, lentebb jól látható az elmozdulás a frekvenciasíkon.



4.7. ábra Hangmagasság érzékenység vizsgálat

4.3 Mért adatok

A mérőműszerből egy txt kiterjesztésű fájlt kaptunk a mért adatokkal, amely tartalmazza a mérés időpontját, mintavételezési frekvenciát, mérőműszer típusát és egyéb méréssel kapcsolatos információkat. A mért eredmények három oszlopban helyezkednek el. Az elsőben (sample) egy sorszám található. A másodikban (CH 1 PK 1 WL) a szenorról visszaverődő jel hullámhossz értéke (WL – Wave Length). A harmadikban (CH 1 PK 1 PV) a visszaverődő jel spektrumának csúcsértéke (PV – Peak Value). A mi esetünkben csak a második oszlop adatai érdekesek, ugyanis ez tartalmazza a szenor rezgésének időbeli hullámhossz változását.

5_rhytm.txt - Jegyzettömb

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

Date: 29-JAN-2015 18:09:48.744

Software name: Sentinel s-line
 Software version: workingDevelopmentVersion
 Software version date: 20141213_1039

Datalog Interval: 2000 Hz
 Timestamp Format: Absolute
 Absolute timestamp format: dd-MMM-yyyy HH:mm:ss.SSS

Interrogator Type: FBG800
 Switch channel count: 1

Channel=1 IntegrationTime=100 LineRate=100
 NoiseThreshold=8000

Timestamp	sample	! CH 1 Pk 1 WL	! CH 1 Pk 1 PV
29-Jan-2015 18:09:48.744	0	1548.363	25588.824
	1	1548.363	25595.840
	2	1548.363	25575.362
	3	1548.363	25577.296
	4	1548.363	25568.938
	5	1548.363	25596.346
	6	1548.363	25575.734
	7	1548.363	25586.176
	8	1548.363	25600.944
	9	1548.363	25568.096
	10	1548.363	25553.096
	11	1548.363	25566.676
	12	1548.363	25590.212
	13	1548.363	25571.894
	14	1548.363	25609.066
	15	1548.363	25585.182

4.8. ábra Eredmények táblázata

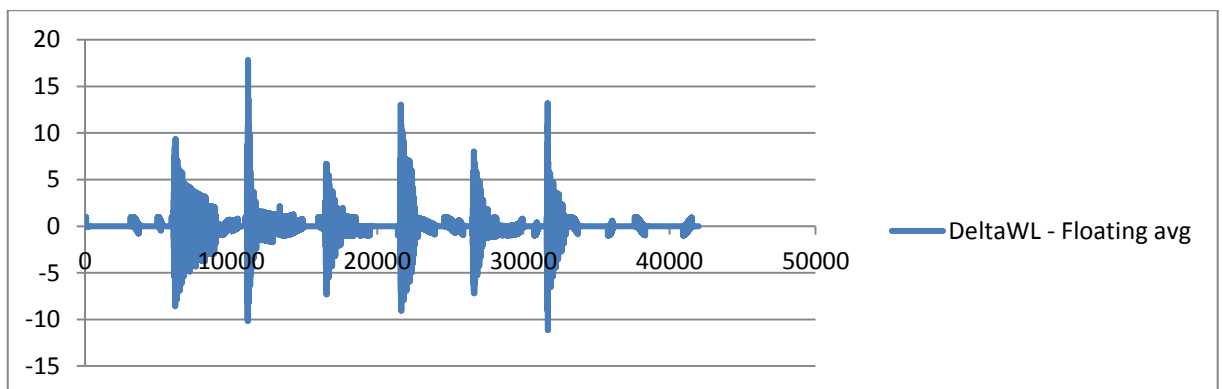
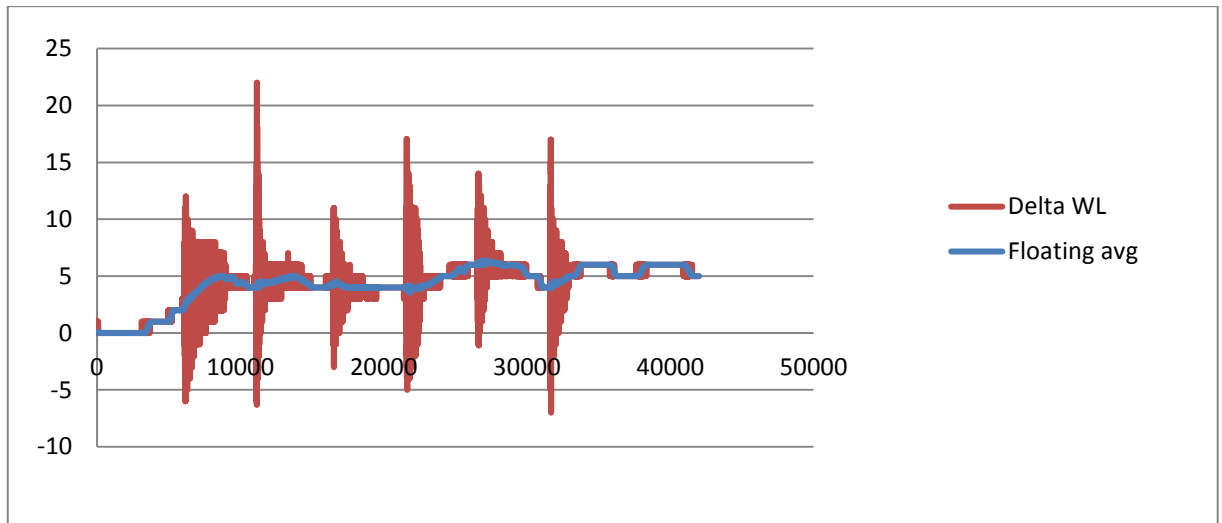
Ezt az adathalmazt először egy táblázatkezelő segítségével megjelenítettük. Első ránézésre egy elég meggyőző, hangalakhoz hasonló grafikont kaptunk, ami az idő függvényében jeleníti meg számunkra a szenzorról visszaverődő kitérések nagyságát. Viszont észre kellett vennünk, hogy ezek a kitérések nem egy null értékhez térnek vissza. Ennek okát annak tulajdonítottam, hogy a szenzor nem egy fix és egy lebegő pont között volt kifeszítve, hanem két lebegő pont között. Ugyanis a gitár alsó és felső fedőlapja is rezonált a hangképzés során. Ha ezt az esetünkben hullámmzó nullpontot detektálni tudjuk, akkor korrigálhatjuk az ez okozta hibákat is.

4.3.1 Mozgó átlagolás – Floating average

Ezen módszer alapja az, hogy az adott adatsorból láncszerűen továbbhaladó átlagolással újabb adatsorokat képezzünk. Az új adatsorok értékei a trend értékek. Az én esetemben ez úgy történt, hogy az adatsorom első 200 értékét átlagoltam, majd ezt az átlagolást léptettem sorról-sorra. Minél több értéket átlagolunk annál pontosabb adatsort kapunk. Adathalmazom során felesleges volt 200-nál magasabb értéket választanom, mert az átlagolt értékek pontossága már nem növekedett meghatározóan.

$$\frac{x_1+x_2+x_3+...+x_{200}}{200}, \frac{x_2+x_3+x_4+...+x_{201}}{200}, \frac{x_3+x_4+x_5+...+x_{202}}{200}$$

A kapott értékeket táblázatba rendeztem, majd az előző adatsorra illesztettem. Így jól láthatóvá vált a hullámszó nullpontunk. Ezek után az eredeti adathalmazból kivontam a mozgó átlagolásból eredő értékeket, amivel sikerült teljesen megszüntetnem a hullámszó nullpontot.



4.3.2 Bináris kódolás

A hullámszó null középpont korrigálása után az adatfolyamunkat el kell kódolnunk binárisan. Ezt egy C# íródott program segítségével valósítottuk meg. A program beolvas egy előre definiált helyről egy txt fájlt, amiben már csak az adatfolyam található. Csak egész számok feldolgozására képes, ezért eredményeinket felszoroztuk ezerrel, ugyanis a mérés során maximálisan három tizedes jegyet tartalmaztak eredményeink. A program lefutása során egy bin fájl jön létre, ami tartalmazza a 32 biten elkódolt adatfolyamunkat. Ezt a fájlt fogjuk szabványos wave kiterjesztésű hangalakra hozni.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO;

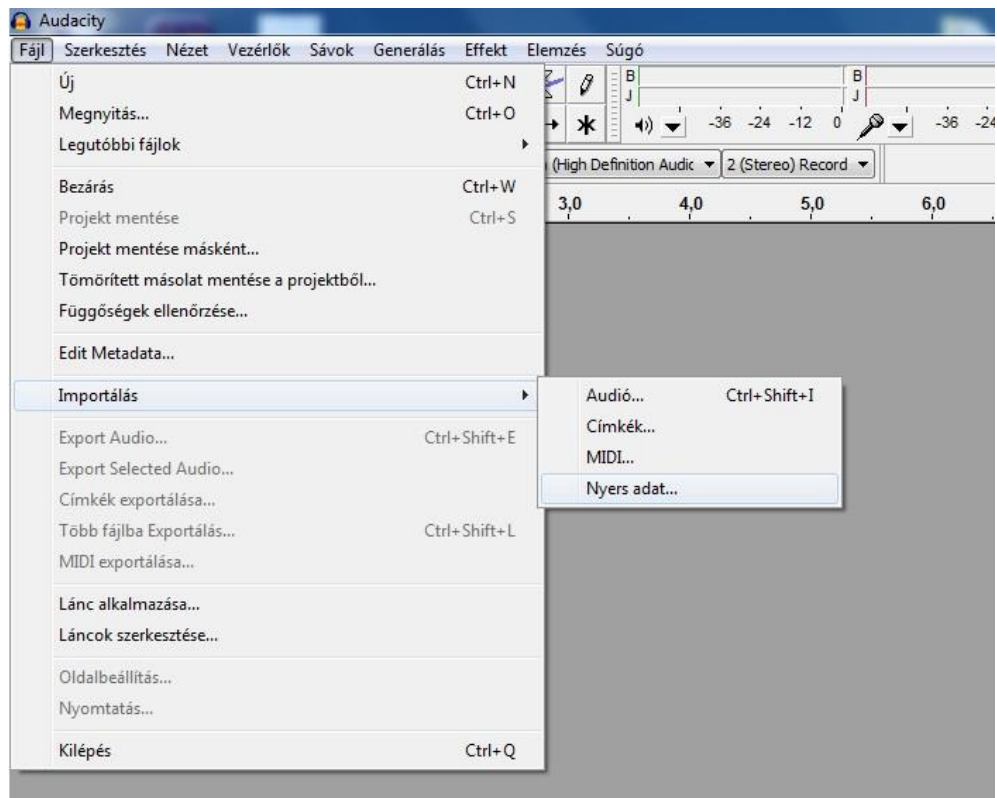
namespace TextToBinaryConverter
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            using (StreamReader sr1 = new StreamReader("C:\\Users\\Public\\Fork_log.txt"))
            {
                FileStream fs = new FileStream("C:\\Users\\Public\\Fork_log.bin", FileMode.Append);
                string line;
                using (BinaryWriter bw = new BinaryWriter(fs))
                {
                    while ((line = sr1.ReadLine()) != null)
                    {
                        int i;
                        i = int.Parse(line);
                        bw.Write(i);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

4.9. ábra C# forráskód

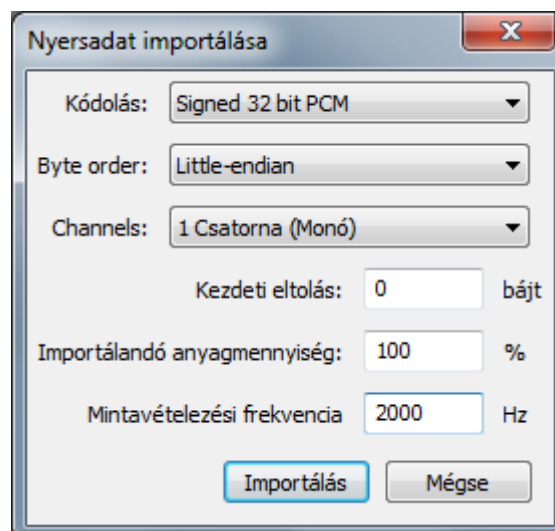
4.3.3 Waveform audio format - WAV

Mindenképp minőségi hangjellé akartuk alakítani az adathalmazunk, ezért tömörítetlen WAV formátumra esett a választásunk. Ismerjük a mintavételezési frekvenciát, valamint az időpillanatokhoz tartozó értékeket is. Egy olyan szoftverre volt szükségünk, amivel úgynevezett nyers adatok (Raw Data) konvertálására is képesek vagyunk. Egyszerű, viszont számunkra tökéletesen megfelelő Audacity hangeditáló szoftverre esett a választás. A program képes nyers adatok importálására, editálására és megjelenítésére is.

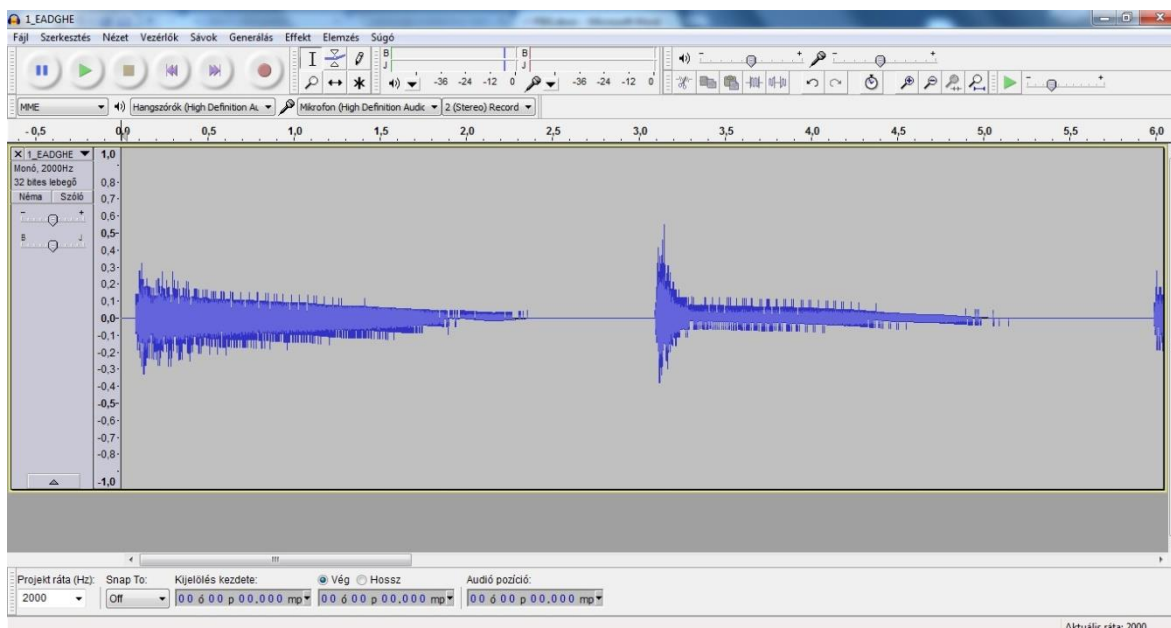


4.10. ábra Audacity

Egy felugró ablakot kapunk, ahol beállítható a kódolás mértéke, ami a mi esetünkben 32 bit PCM. A másik számunkra lényeges beállítás a Mintavételezési frekvencia, ahol 2 kHz-et állítunk be.

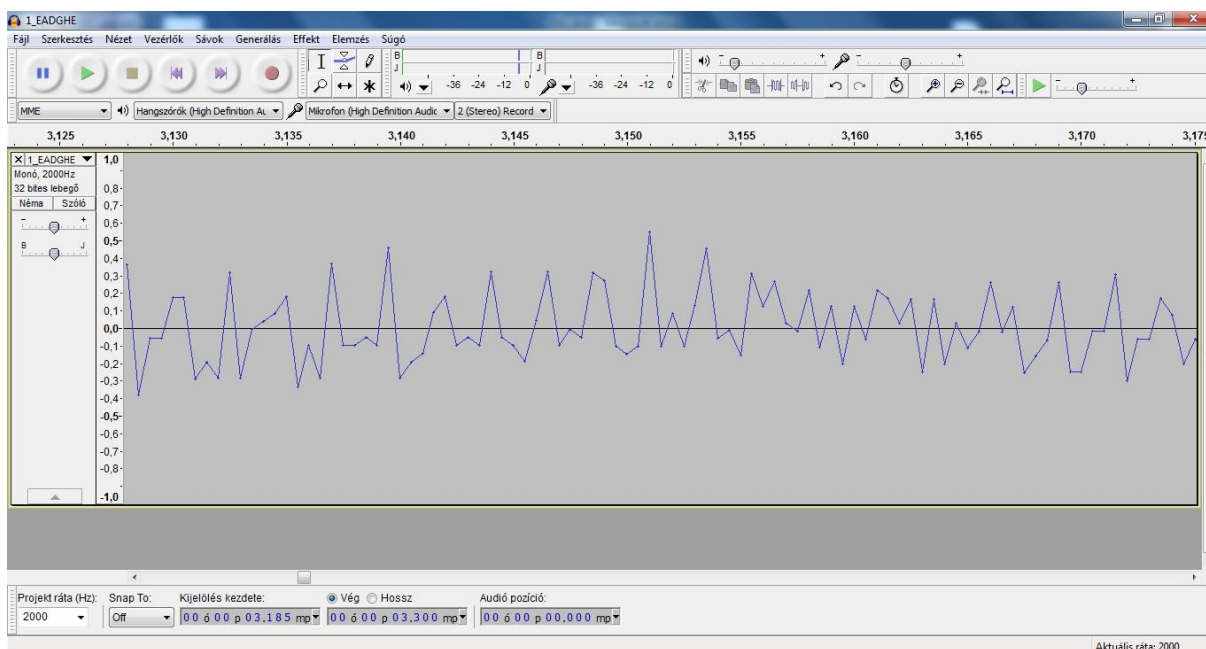


4.11. ábra Nyers adat importálás



4.12. ábra Konvertált hangfile 2 kHz

A program átalakítja a bin fájlt és megkapjuk a wav formátumú hangalakot, amit meg is jelenít a szoftver. A jelfolyamunkat immár hallgatható formába öntöttük. A hangalak teljesen felismerhető viszont az alacsony mintavételezés miatt a hangjel nem teljesen tiszta. A jelenlegi stúdiótechnika 24 biten kódol és 48 kHz-es mintavételezési frekvenciával dolgozik. A program nagyítás funkcióját használva az x tengely mentén addig közelítettem a jelre, míg láthatóvá nem váltak az alacsony mintavételezés okozta pontatlanságok.



4.13. ábra Alacsony mintavételezés

Mivel a mérőberendezésünk maximális mintavételezési frekvenciája 2 kHz, részletesebb felbontású berendezésre volt szükségünk, ha tisztább hangalakú eredményt akartunk. A mérések bizonyították, hogy a szenzor képes az olyan kis

rezgéseket is detektálni, mint egy hangszer rezonanciája, valamint kódolás után ezek a jelek hanggá is alakíthatóak.

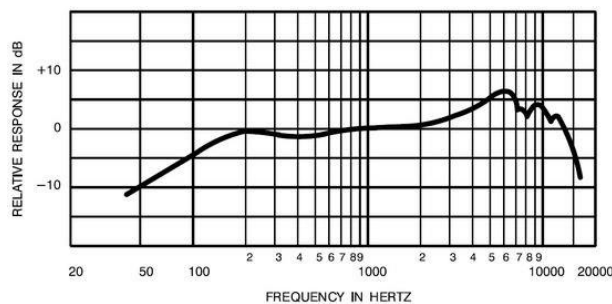
4.4 Hagyományos hangrögzítés

A hangszer hangját mindenképp szerettem volna rögzíteni a jelenlegi stúdiótechnika módszereivel is, hogy később összehasonlítási alapként szolgáljon a szenzor felvételeivel. Mivel a hangszer nem tartalmazott piezo illetve elektrodinamikus hangszedőket, ezért a mikrofonos rögzítést találtam a legcélszerűbbnek. Két alaptípusú mikrofont használtam, melyek minden stúdióban megtalálhatóak, amit egy többcsatornás hangkártyán keresztül csatlakoztattam számítógémemhez.

4.4.1 Mikrofonok

4.4.1.1 Shure SM 57

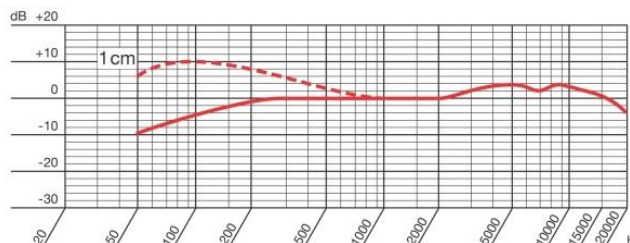
Ez a dinamikus mikrofon eléggé elterjedt úgy stúdiókban, mint a színpadokon. Főként hangszerek mikrofonozására használják, de kitűnő ének és fúvósok felvételekor is. Akusztikus gitár rögzítésénél rendszeresen használják, ezért esett rá a választásom.



4.14. ábra Shure SM 57

4.4.1.2 AKG C-1000

A másik választásom egy kondenzátor mikrofon, amely szintén egy elég elterjedt a térrögzítés terén. Nagyobb távolságból is szép hangképet ad és lényegesen érzékenyebb a dinamikus társánál. Mindkét mikrofonnak meg van a sajátos karaktere, amelyet ízlés szerint vegyíthetünk.



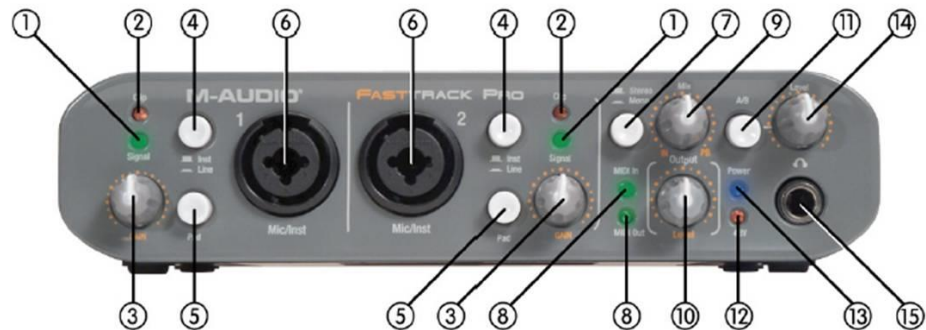
4.15. ábra AKG C-1000

4.4.2 M-audio Fast Track Pro

Ez a kártya egy felső kategóriás termék egy neves, stúdiótechnikában elismert cégtől, házi stúdiózásra kalibrálva. Az én céljaimra tökéletesen megfelelt, ugyanis képes volt két csatorna egyidejű rögzítésére, valamint phantom táplálást

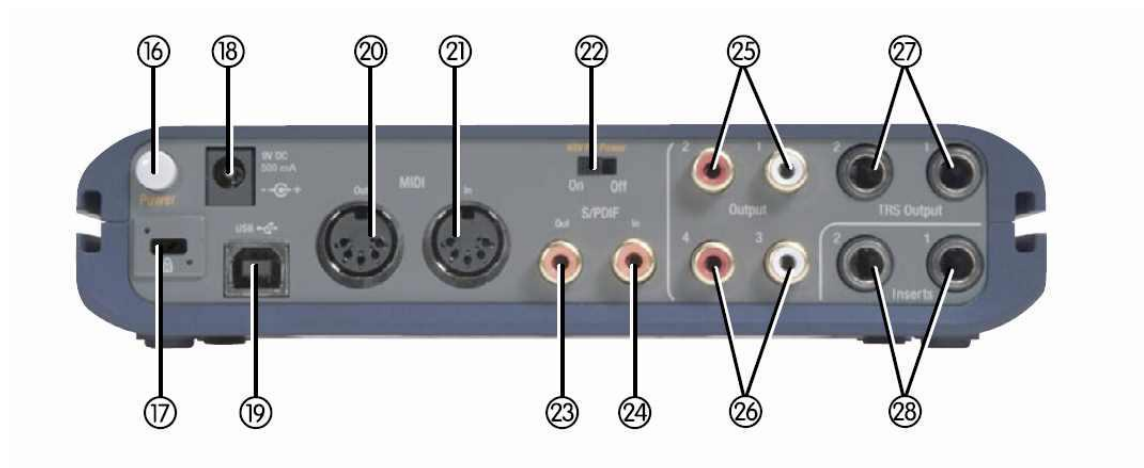
is tudott biztosítani a kondenzátoros mikrofonomnak. 24bit-es felbontású 48kHz-es mintavételezési frekvenciával bőven a stúdió minőségén belül dolgoztam. Alábbiakban bemutatnám a kártya összes paraméterét és funkcióit.

Face avant



4.16. ábra M-Audio Fast Track Pro előlnézet

1. **Jelszint indikátor** (A bemenő jelszint mértékét mutatja)
2. **Clip indikátor** (Ez a LED akkor villan fel, ha elértünk egy felső küszöb jelszintet, a jelünk itt már torzulhat)
3. **Input Gain potenciométer** (Itt állíthatjuk be a bemenet érzékenységét)
4. **Inst/Line kapcsoló** (Ezzel a kapcsolóval a bemenetünk érzékenységét kapcsolhatjuk Inst állásban hangszeres felhasználáshoz, mint például gitár, Line állásban pedig billentyűs hangszerhez vagy különböző dobgépekhez)
5. **Pad kapcsoló** (Magas bemeneti jelszinteket tudunk vele -20dB-el csökkenteni)
6. **Mikrofon/Line bemenet** (Ez egy hibrid bemeneti csatlakozó, ami egy szabványos XLR csatlakozó és egy 6,3mm-es jack aljzat kombinációja)
7. **Stereo/Mono kapcsoló** (Itt a sztereó illetve monó hangzásközt tudunk kapcsolni)
8. **MIDI Input/Output indikátor** (Ez jelzi nekünk a ki és bemenő MIDI kapcsolat aktivitását)
9. **Input/Playback Mix potméter** (Ezzel a potenciométerrel tudjuk állítani bemenet illetve visszajátszott hangok mértékének arányát)
10. **Output potenciométer** (Kimeneti hangerő szabályzó)
11. **A/B Monitor kapcsoló** (Különböző kimenetű monitorozási lehetőségeket kapcsolhatunk vele)
12. **Phantom power indikátor** (A Phantom táplálás állapotát jelzi)
13. **Power indikátor** (A bekapcsoltság állapotát jelzi)
14. **Headphone Output potenciométer** (Fejhallgató hangerőszabályzó)
15. **Headphone Output** (Fejhallgató csatlakozó)



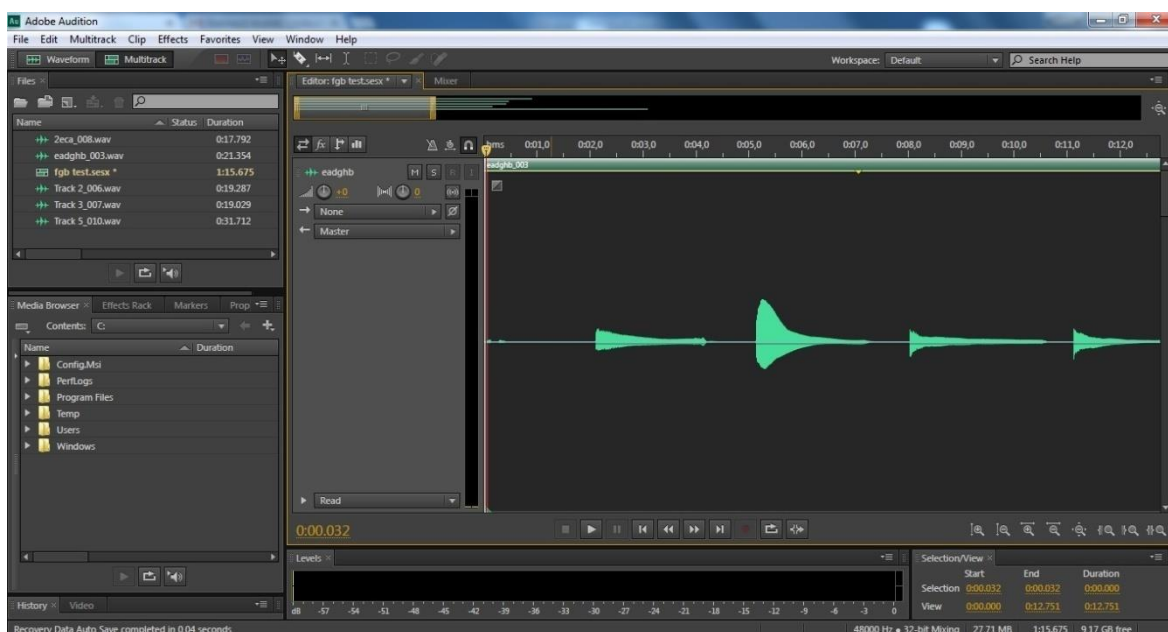
4.17. ábra M-Audio Fast Track Pro hátulnézet

- 16. Power kapcsoló** (Bekapcsológomb)
- 17. Kensington Lock Port**
- 18. Power Supply** (Tápkábel csatlakozó 9V, 500mA)
- 19. USB Input** (USB csatlakozó)
- 20. MIDI Output** (Midi kimenet)
- 21. MIDI Input** (Midi kimenet)
- 22. Phantom Power kapcsoló** (Phantom táp be illetve kikapcsoló)
- 23. S/PDIF Output** (S/PDIF kimenet)
- 24. S/PDIF Input** (S/PDIF bemenet)
- 25. Unbalanced Outputs 1 és 2** (1-es és 2-es kimeneti RCA csatlakozó)
- 26. Unbalanced Outputs 3 és 4** (3-as és 4-es kimeneti RCA csatlakozó)
- 27. Unbalanced Outputs 1 és 2** (1-es és 2-es kimeneti 6,3-as Jack csatlakozó)
- 28. Insert 1 és 2** (Az egyes és kettes csatornához lefűzhető effektek ki és bemeneti sztereó Jack csatlakozói)

A felvételeket az Adobe Audition CS6 hangrögzítő szoftverrel készítettem. Itt definiálnom kellett az adott hangkártyát, amit a felvétel során használtam, majd beállítottam az adott csatornára az adott bemenetet is. Mindkét mikrofon felvételeivel egy időben rögzítettem az optikai szálak jelét is az összevethetőség érdekében. A dinamikus mikrofonomat a hangszerhez közelebb helyeztem el az alacsonyabb érzékenysége miatt, míg a kondenzátor mikrofont valamivel távolabb a térhatás elérése érdekében.



4.18. ábra Felvételek készítése



4.19. ábra Adobe Audition CS6

4.5 Smart Scan Dynamic FBG Interrogator

Későbbiekben a Sylex, angol társcegetől a Smart Fibres-től kaptunk kölcsön egy másik mérőberendezést, amivel 25 kHz-es mintavételezéssel tudtunk méréseket végezni. Ez a műszer az előzővel ellentétben a pásztázó lézeres módszer alkalmazza.

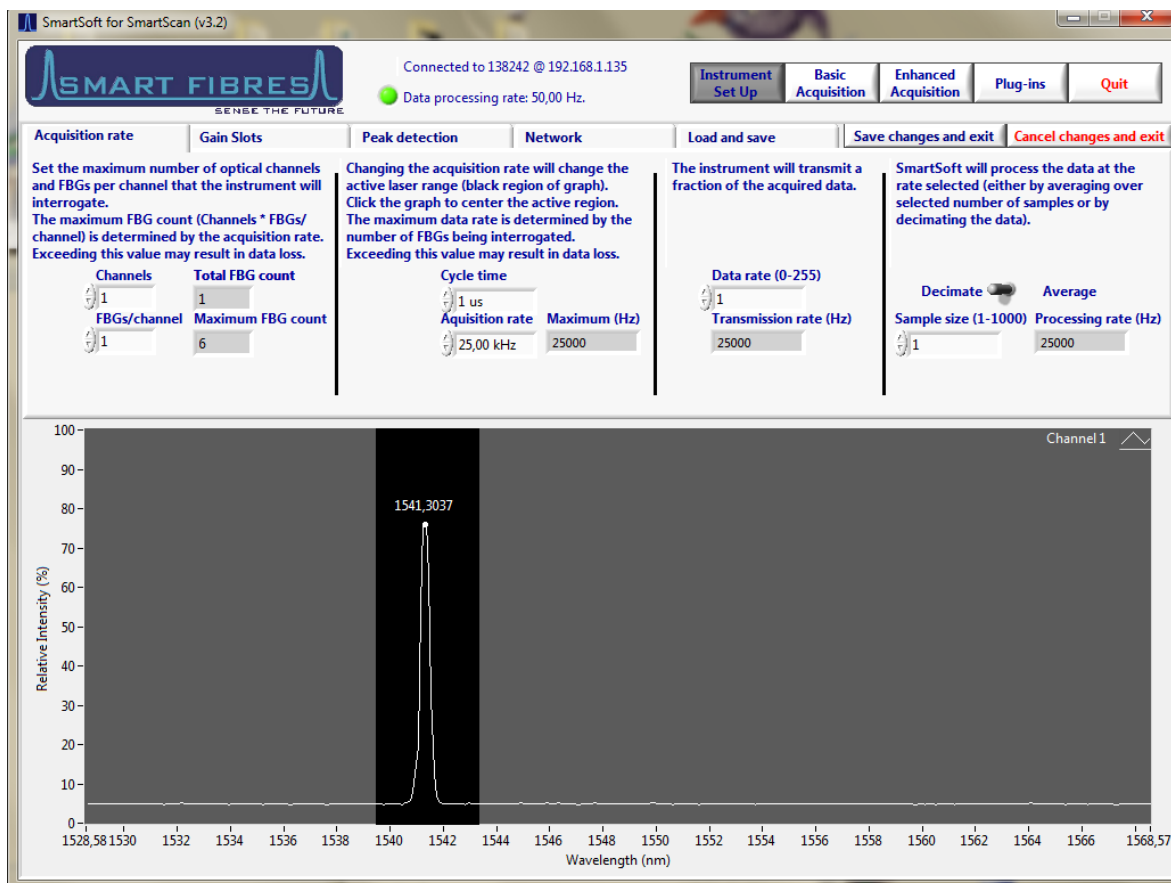


4.20. ábra Smart Scan Dynamic FBG Interrogator

4.5.1.1 Technikai adatok

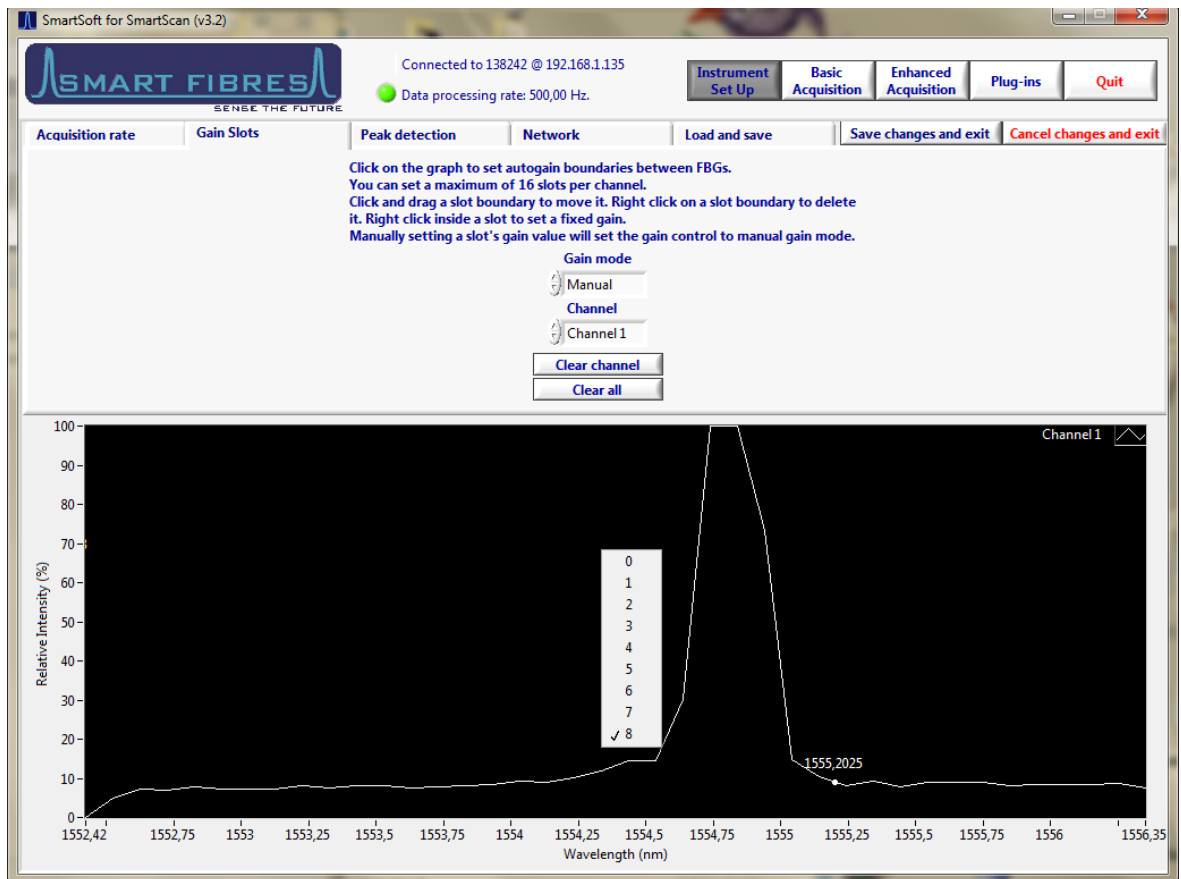
Csatornák száma	4
Mintavételezési frekvencia	25 kHz
Hullámhossz tartomány	40 nm (1528 – 1568 nm)
Dinamika tartomány	27 dB
EMC besorolás	BS EN 61326-1 edition 2006

Méréseinket a berendezéshez tartozó Smart Soft for Smart Scan (v 3.2) szoftverben végeztük. A Sentinel S-line 1.0 szoftverhez hasonlóan itt is valós időben jeleníti meg számunkra a szárlól visszaverődő hullámhossz értékét. Állítható a mintavételi frekvencia valamint egyéb csatorna beállítások.



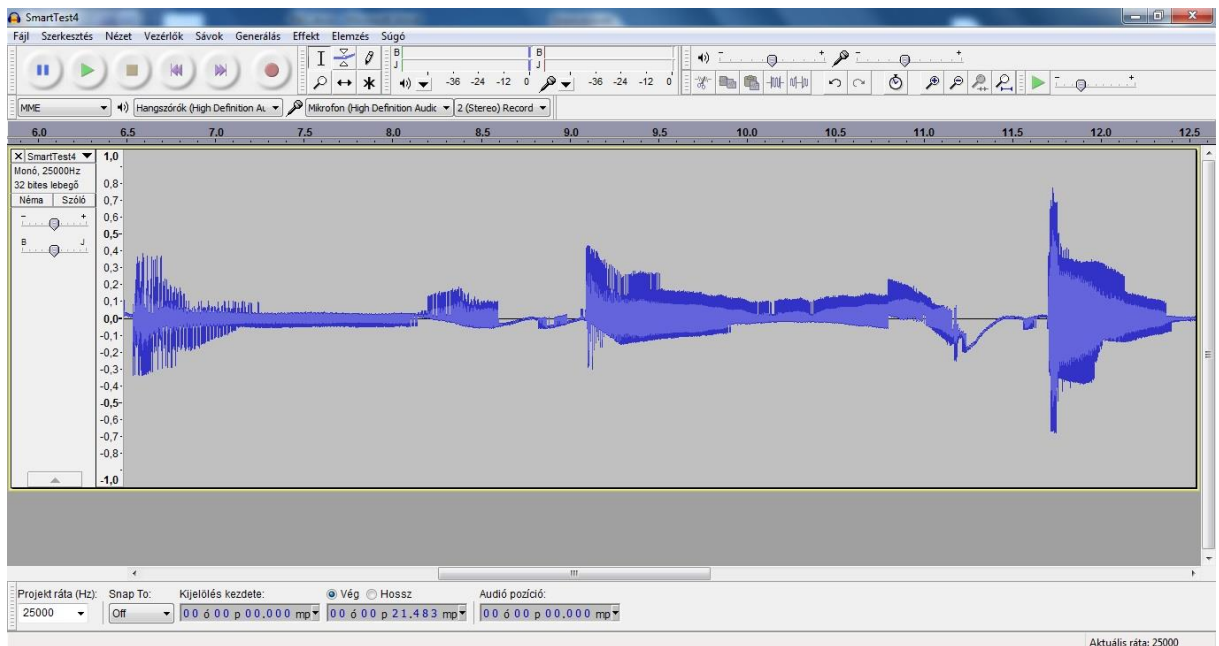
4.21. ábra Sentinel S-line 1.0

A mérések során gyakran elvesztettük a jelet, ugyanis a berendezésünk olyan szálakra volt optimalizálva, amely 90%-os reflexiós tényezőt igényelt, a hangszerbe viszont egy 30%-os visszaverődési tényezőjű szál volt telepítve. Szerencsére a szoftverben az érzékenység (gain) állítható volt, így sikerült addig erősíteni a jelet, míg folyamatos mintavételezést érthettünk el. Ezzel viszont a visszavert jelet túlvezéreltük. A mérések során így pontatlanabb és torz jelet kaptunk vissza. Próbáltunk keresni egy megfelelő érzékenységi pontot, ahol a jel még nem torzul és a mintavételezés is állandó. Sajnos a különböző érzékenységi szintek között, vagy az egyik, vagy a másik probléma lépett fel. Ezen probléma kiküszöbölésére egy más típusú szenzorral lett volna szükségünk, amelyet a cég nem tudott biztosítani nekem, külföldi megrendelése időbeli és anyagi akadályokba ütközött. Mindenesetre elvégeztük a méréseket a nagyobb mintavételezési frekvencia tesztelése érdekében.



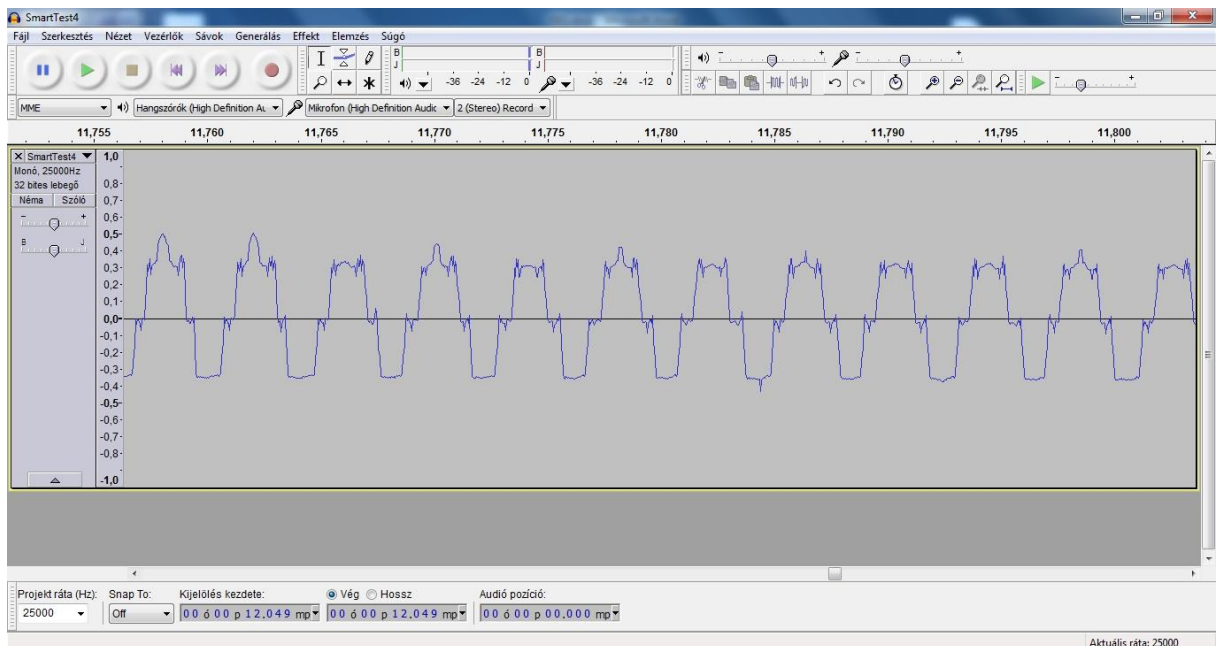
4.22. ábra Túlvezérelt jel

A kiértékelés az előzőekhez hasonlóan zajlott, itt is egy txt fájlban kaptuk meg az eredményeket, amelyeket táblázatkezelőben jelenítettünk meg. Elvégeztük a mozgó átlagolást és korrigáltuk az általa okozott hibákat, majd binárisan kódoltuk a C#-ban írt programunkkal. Az így kapott bin fájlt pedig az Audacity szoftverrel dolgoztuk fel, megjelenítve az így kapott hangjelet. Ahogy vártuk itt is teljesen felismerhető hangalakot kaptunk a túlvezérlés okozta torzítást leszámítva.



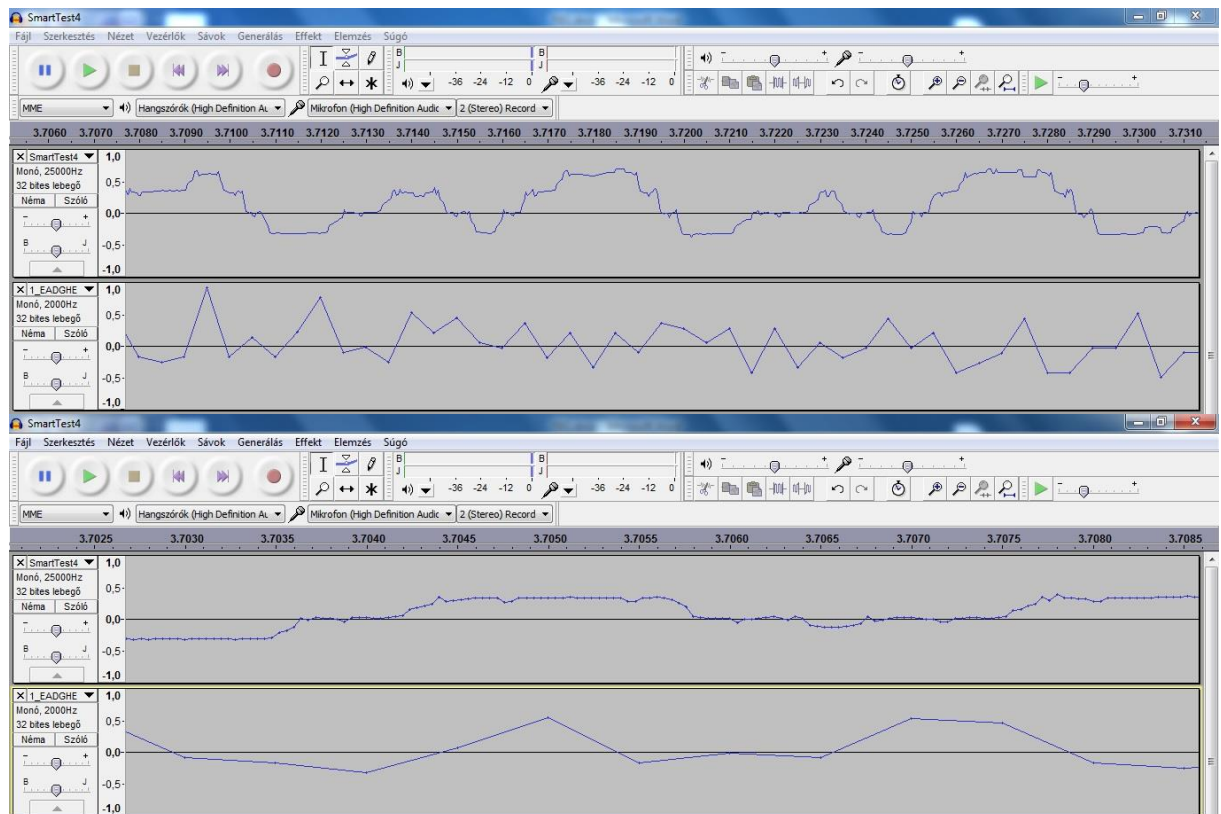
4.23. ábra Konvertált hangfile 25 kHz

Ismét a nagyítás funkciót használva x tengely mentén addig nagyítottam a jelre, míg jól láthatóvá vált a túlvezérlés okozta hiba. A jel alsó és felső része levágódott ezzel csonkítva, majd torzítva a jelet.



4.24. ábra Túlvezérelt jel torzítása

Tovább nagyítva viszont látható, hogy a mintavételezési hiányosság, ami az első méréseknél jelentkezett lényegesen csökkent. A két jelet összehasonlítva szembejövő a részletesség, hisz itt 12,5x nagyobb mintavételezést használtunk, mint korábban.



4.25. ábra Mintavételezés részletességének összehasonlítása 2 kHz vs. 25 kHz

4.6 Hangvillamérések

A Smart Fibres mérőberendezésünkhöz kaptunk egy fém hangvillát, mely egyik ágára egy a mérőberendezéshez kalibrált szenzor volt telepítve. Ebben az esetben egy nagy mintavételezési frekvenciával rendelkező mérőműszerrel sikerült egy paramétereiben hozzá tartozó szenzor jeleit detektálnunk. A mérés során a hangvilla rezonanciáját rögzítettük szenzorunkkal. A jelfeldolgozás során ugyan úgy jártunk el, mint az ezt megelőző méréseket. Eredményként egy teljesen tiszta hangjelet kaptunk, amely tükrözte a hangvilla hangját. Semmilyen torzítás nem volt észlelhető, amit először az alacsony mintavételezésnek volt köszönhető, valamint a túlvezérlés okozta torzítás is megszűnt a mérőműszerhez kalibrált szenzornak köszönhetően. Sajnos ezt a szenzort nem tudtuk beépíteni a hangszerbe és ilyen típusú szenzor beszerzése, mint már említettem anyagi és időbeli korlátokba ütközött.



4.26. ábra Hangvilla

5 Összegzés

Munkám kezdetén egy új innovatív hangdetektálási módszerrel kezdtem el foglalkozni. Hangszerbe építhető és jól monitorozható rendszerre volt szükség, hogy a mérések során kikísérletezhessem a legideálisabb módszert. A jelenlegi magas érzékenységgel rendelkező optikai szálás szenzorok világában találtam erre megoldást, pontosabban az FBG szenzorokat. Természetesen kezdetben csak feltételezésekre alapoztam munkám, bizonyos tények ismeretében. Tudtam, hogy képes különböző alaki deformációk és rezgések detektálására. A fő kérdés az volt, hogy mennyire részletesen és pontosan képes rezgések észlelésére és, hogy ezek a rezgések származhatnak-e egy hangszerből.

Két hangszeret is tesztelés alá vettem. Elsőként egy elektromos gitárt láttam el szenzorokkal. Beépített elektrodinamikus hangszedőket tartalmazott, amivel összehasonlítási alapul is szolgált volna. Hamar rá kellett jönnöm, hogy a hangszer teste nem rezonál kellő mértékkel, hogy a szenzorom érzékelni tudja. A hasznos jel beleveszett a háttérzajba. Korrigálnom kellett ezt a hibát, amit csak egy másik hangszerrel sikerült megoldani.

A következő hangszer esetében mindenképp fő szempont volt a hangszer testének rezgése. Pontosabban a rezgés mértéke. Emiatt egy akusztikus gitárra esett a választás. Lényegesen jobb eredményeket értem el ennél a hangszernél. Három szenzorhelyezést is kipróbáltam a legintenzívebb jelszintet keresve. Ezek közül a legideálisabb egy a hangszer testén áthaladó szál volt. Lényegében a gitár alsó és felső lapja között feszítettem ki a szenzort. Mint későbbiekben kiderült ez a módszer bizonyos pontatlanságot okozott a mérések során, amit viszont sikerült matematikailag korrigálnunk.

A mérések során a mérőberendezéshez tartozó szoftverben grafikusán, valós időben követhettük eredményeinket. Kiértékelésre viszont a mérőműszerből egy txt fájlban kapott adatsort használtunk. Ezt az adatsort táblázatkezelőben editáltam, ahogy az adatokat grafikonba rendezve láthatóvá vált a felfüggesztésből adódó nullpontingadozás. Az eredményeimnek egy nullpontba kellett volna visszaállnia. Mivel azonban a szenzor nem egy fix és egy lebegő pont között volt kifeszítve, hanem két lebegő pont között az adatsor torzult. Ezt a hibát a mozgó átlagolás módszerével korrigálni tudtam. Először az átlagolást elvégezve megkaptam a hullámozó nullpont grafikonját, amit kivonva az eredetiből stabilizálódott a hullámozás.

Mérőberendezésünk korlátosságát tekintve 2 kHz-es mintavételezési frekvenciával tudtunk méréseket végezni, ami kezdetben megfelelt céljainknak. A táblázatkezelőben megjelenített adatfolyam valósághűen tükrözte azt a hangjelet, amelyet rögzítettünk. Miután az editált eredményeket sikerült átalakítanunk hallgatható wav formátumra, jelentkeztek az alacsony mintavételezés okozta torzítási hibák. Ezt egy más, magasabb mintavételezési frekvencián dolgozó mérőberendezéssel tudtuk korrigálni.

A nyers adatok hangfájllá való átalakítására az Audacity nevű szoftvert használtam, mert képes volt adathalmaz beolvasásával és mintavételi frekvencia megadásával hangfájl előállítására. A szoftver képes a hangalak megjelenítésére és editálására is. Az utóbbi funkciót nem használtam ki, mert számomra az eredeti, vágatlan felvételek voltak mérvadók. A megjelenítés során egy

idő/amplitúdó grafikont kaptam, amelyet az idő tengely mentén addig nagyítottam, míg jól láthatóvá nem váltak az alacsony mintavételezés pontatlanságai.

Sikerült szert tennünk egy 25 kHz-es, magasabb mintavételezési frekvencián dolgozó mérőberendezésre, amellyel korrigálni tudtuk az előbb említett hibákat. Viszont ebben az esetben is problémákba ütköztünk, ugyanis a mérőberendezés olyan FBG szenzorokhoz volt kalibrálva, melyek 90%-os visszaverődési tényezővel rendelkeztek. A mi esetünkben használt 30%-os visszaverődési tényezőjű szenzort túl kellett vezérelni annak érdekében, hogy a mintavételezett jel folytonos legyen. Így viszont a jel túlvezérlése miatt torzult a jel. A hangfájllá alakítás után az Audacity szoftverben megjelenített hangalakon láthatóvá vált a torzítás, viszont összehasonlítva a korábbi mérésekkel, a mintavételi hibák nagymértékben csökkentek.

Az utolsó mérések során egy a műszerhez kapott hangvillát teszteltünk. A hangvillára egy a mérőműszerhez kalibrált 90%-os visszaverődési tényezőjű szenzor volt ragasztva. A hangvilla rezgéseit átalakítva egy tökéletes hangfájlt kaptunk, amely teljesen visszaadta a hangszín pontosságát. Mivel egy kellő mértékű mintavételi frekvenciával rendelkező berendezésen és egy hozzá tartozó szenzorral mértünk, az előzőekben felmerülő hibák mind kiküszöbölésre kerültek. Sajnos ilyen típusú szenzorunk nem volt több, amit beépíthettünk volna a hangszerünkbe, de a módszer hatékonyságát igazolni tudtuk a hangvillamérésekkel.

6 Kiértékelés