SABLON

TARTALOM

Ritmusérzék-fejlesztő alkalmazás fejlesztése Dobosok és ütősök esetén elengedhetetlen a tempótartás és az időbeli pontosság fejlesztése, és ez – ha kisebb mértékben is – más hangszeren játszó zenészek esetén is így van. Hagyományos módon ez metronómmal együtt történő gyakorlással tehető meg. A ritmusérzék további fejlesztésében nagy segítséget jelentene egy olyan alkalmazás, amely a mikrofonjel elemzése alapján a pontosságról képi visszacsatolást adna. Ritmusjáték esetén alapvetően kétféle pontosságról beszélhetünk: az egyik az ütemen belüli ütések pontossága, itt annak a vizsgálatára van szükség, hogy az elvi (metronóm által jelzett) ütésekhez képest siet-e vagy késik-e a zenész. Legalább ennyire fontos, hogy a zenész ne csak metronóm vagy más hangszerek játéka mellett legyen képes a zene tempójának stabil tartására: ebben az esetben a zene tempóját valós időben kell elemezni a lehető legkisebb késleltetés mellett. Könnyebbséget jelenthet, hogy a bemenőjel körülbelüli (megkívánt) tempóját ismertnek tekinthetjük. A hallgató feladata egy olyan szoftveres alkalmazás megvalósítása, amely mind az ütemen belüli pontosság, mind a tempótartás tekintetében segíti a gyakorlót. A hallgató munkájának a következőkre kell kiterjednie:

• Tekintse át az ütem- és tempódetektálás módszereinek irodalmát!

• Matlabban alkosson a jel burkolóján alapuló, egyszerű ütésdetektáló algoritmust, ill. valósítson meg több különböző tempódetektáló módszert és hasonlítsa őket össze a pontosság, beállási idő (késleltetés), ill. a számításigény tekintetében!

• A JUCE fejlesztőkörnyezet segítségével C++ nyelven fejlesszen az audio bemenőjelet on-line feldolgozó programot a következő fő funkciókkal:

1) Ütésdetektálás: a program állítható tempójú és ütemszámú metronómjelet ad ki az audio kimeneten, a bemenőjel ütéseit detektálja, és mind a metronóm, mind a zenész ütéseinek helyét a képernyőn grafikusan megjeleníti.

2) Tempódetektálás: a program az audio bemenőjel alapján megállapítja a zene tempóját és azt megjeleníti. Az algoritmus késleltetése/pontossága legyen állítható.

• A C++ nyelven beprogramozott algoritmusok működését a Matlab eredményeivel történő összehasonlítással tesztelje!

• Tesztelje és értékelje a teljes megvalósított programot a pontosság és kezelhetőség tekintetében, ill. hasonlítsa össze a piacon elérhető megoldásokkal!

1. Bevezetés

A feladat egy olyan ritmusérzék-fejlesztő alkalmazás megvalósítása, amely futtatható hétköznapi személyi számítógépen és a bemenő jelet a géphez csatlakoztatott mikrofonból nyeri. Ezen alkalmazás nagy segítséget nyújthat a zenészeknek a tempótartás, illetve tempóváltás gyakorlásában és elérhetővé teszi ezt a funkciót az akusztikus hangszereket használók számára is.

1.1 Tervezés célja

A tervezés célja egy olyan alkalmazás elkészítése, amely Windows operációs rendszeren futtatható. Kimenetként a vett jel alapján, az adott hang tempóját jelzi ki. Két használati lehetőséget biztosít, az egyik a tempó automatikus felismerése és kijelzése, a másik az aktuálisan felismert tempó összehasonlítása egy előre beállított referencia értékkel.

A használó vizuális visszacsatolást nyerhet, amelyet a zenélés során valós időben értelmezhet. Az fejlesztés célja a lehető legpontosabb visszajelzés biztosítása.

A piacon jelen pillanatban már megtalálhatóak hasonló megoldások, de 1 évvel ezelőtt ez a megoldás még elérhetetlen volt a zenészek számára az interneten történő kutatásaim szerint. Ahhoz, hogy hasonló funkciók előnyeit élvezhessék digitális eszközöket kellett vásárolniuk. Vannak olyan elektromos dobok a piacon, amelyek tartalmaznak ritmusérzék felismerő funkciót. A jelen megoldás ezzel szemben elérhetővé teszi a tempó folyamatos figyelését akusztikus hangszerek használói számára is.

1.2 Megvalósítás menete

A megvalósítás során elemzésre és összehasonlításra kerülnek különböző tempódetektáló algoritmusok. Az irodalomkutatás során cél, minél hasznosabb képet kapni a már meglévő megoldásokról, és ezeket amennyiben lehetséges felhasználni. A tervezés során MatLab segítségével kerülnek megvalósításra az algoritmusok. Ezen program segítségével a módszerek könnyen összehasonlíthatóak, és eldönthető, hogy a melyik módszert kerüljön felhasználásra a végleges implementációban. A megvalósítás során, cél az adott algoritmusok javítása különböző módszerek bevezetésével, tesztelésével. A végleges implementáció C++ nyelven történik a JUCE fejlesztő környezet segítségével. Ezen eszköz lehetőséget biztosít a grafikus visszacsatolás megvalósítására és a bementi jel könnyű kezelésére. A megvalósítás végső lépése az elkészült program tesztelése és összehasonlítása a piacon elérhető más megoldásokkal.

Az összehasonlítás szempontjai:

I; Futási idő, számításigény

II; Pontosság

III; Tempó változások követésének képessége

I: Futási idő, számításigény: A program működése során az egyik legfontosabb paraméter a számításigény. A MatLab-ban való tervezés során teljes feldolgozandó jel rendelkezésre áll, azonban a végleges implementáció során a feldolgozást élő hangon kell elvégezni. Ez azt jelenti, hogy egy adott részlet feldolgozási ideje nem lehet hosszabb az adott részlet hosszánál.

II: Pontosság: A cél minél pontosabb tempódetektálás. Ez azt jelenti, ha valaki 60BPM tempóval játszik, ne kapjon 64BPM-es visszajelzést. Különböző feldolgozási eljárások a detektálás folyamatában bizonyos mértékű pontatlanságot vihetnek. A cél ezek kiszűrése.

III: Tempó változások követésének képessége: Egy adott zenélés során nem ritka, hogy szándékos a tempó emelése vagy csökkentése. A legideálisabb, ha ezeket a változásokat a program kezelni tudja, továbbá, előnyt jelent, ha nem csak a fokozatos, apró változásokat képes követni, hanem a nagyobb tempóugrásokat is. A nagymértékű és hirtelen tempóváltásokról elmondható, hogy ritkán fordulnak elő, de a cél, hogy az alkalmazás képes legyen ezeket is kezelni.

2. Általános specifikáció

A feladat nehézsége a jelfeldolgozás megvalósítása, és egy olyan optimális algoritmus fejlesztése, amellyel élő hang elemzése lehetséges. A cél, hogy az algoritmus a vett jel alapján, minél biztosabban adjon visszacsatolást annak tempójáról. Fontos szempont, hogy minél kevesebb bemeneti paraméter legyen szükséges a használathoz, a felhasználó egyszerűen tudja használni, anélkül, hogy bármilyen szakmai háttérrel rendelkezne az alkalmazás műszaki hátterével kapcsolatban.

2.1 Tempódetektálás

Ezen funkció célja, hogy egy szabadon játszott zenéről képes legyen megmondani a tempóját, és ezt a tempót élőben jelezze vissza a program a felhasználója felé. Az algoritmusnak, minél rugalmasabbnak kell lennie, adott esetben nem csak egy hangszer használata esetén kell, hogy képes legyen a tempó megállapítására, hanem akár komplexebb esetekre is, mint egy zenekari próba.

Az feldolgozás sebessége rövidebb idő alatt kell, hogy megtörténjen, mint a feldolgozott hang hossza, ahhoz hogy a tempó élőben visszajelezhető legyen. A kijelzés frissítési ideje fejlesztői döntés, a tervezés során tapasztaltak alapján. Feltételezhető, hogy a tempó nem változik rövid időn belül jelentős mértékben.

A megvalósítás történhet, bármilyen számítógépen implementálható megoldással, de a cél, hogy minél stabilabb visszajelzést kapjon a felhasználó és egyszerűen tudja használni a programot.

Ideális esetben a megoldás képes a tempó változások követésére vagy abbahagyott játék után, azt folytatva újra kijelezni az aktuális tempót.

2.2 Tempókövetés

Ezen funkció célja, hogy a felhasználó egy előre beállított tempóhoz képest kapjon visszajelzést arról, hogy éppen siet vagy késik. Ez nagy segítséget nyújt, akár színpadi játék során, ahol egyértelmű és gyors visszacsatolásra van szükség.

A referencia tempót előre, egy bemeneti paraméterként kell beállítani. A használat során az alkalmazás visszajelzést ad a referencia tempótól való eltérés irányáról és mértékéről.

Feltételezhető, hogy ahogyan az előző funkció esetében is a zenész egységnyi idő alatt nem változtat a tempóján jelentős mértékben. A visszajelzés frissítési ideje a fejlesztés során tapasztaltaknak megfelelően előre beállított.

3. Irodalomkutatás

Az irodalomkutatás az elérhető tudásanyag tanulmányozása. Jelen esetben főként az interneten történő keresés, egyetemek oldalainak felkeresése, tudományos cikkek keresése és a használt eszközök dokumentációjának tanulmányozása tette ki.

3.1 Általános cél

Az irodalomkutatás elsődleges célja, hogy kontextusba kerüljek a megvalósítandó feladattal, megszerezzem a sikeres fejlesztéshez szükséges tudást. Az érintett témák a hang digitalizálása, jelfeldolgozás, valamint a már meglévő tempó megállapítására szolgáló eljárások terén bővítsem tudásom.

3.2.1 Hangenergia alapján működő algoritmus

Forrás: http://mziccard.me/2015/05/28/beats-detection-algorithms-1/

http://archive.gamedev.net/archive/reference/programming/features/beatdetection/index.html

http://www.flipcode.com/misc/BeatDetectionAlgorithms.pdf

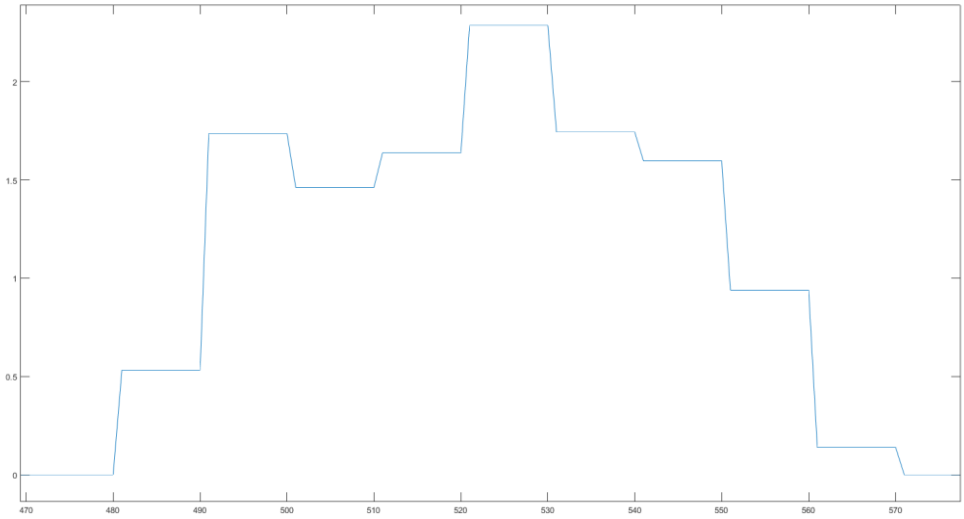
Az ötlet a hang energiájának (amplitúdójának) megfigyelésén alapul. Az algoritmus alapja, egy küszöbként szolgáló energiaszint meghatározása, és az adott energiaszintek összehasonlítása a küszöbértékkel.

Az algoritmus a következőképpen néz ki. Adott egy bemenő sztereo jel $\boldsymbol{e}$, ennek csatornáit összegezzük:

$$e = e_{right} + e_{left} = \sum_{k=1}^{1024} a[k]^2 + b[k]^2$$

A következő lépésben egy adott idősávra $\boldsymbol{e_{buffer}}$ meghatározzuk az átlagos energia szintet:

$$avg(e) = \frac{1}{43}\sum_{j=1}^{43} e_{buffer}[j]$$



A képen a hang 10es ablakos energia szintjei vannak…

Kiszámoljuk, az átlagos energia szintet az adott index környezetében ez legyen „C”:

$$C = \frac{1}{i_{max}} \sum_{i=k}^{i_{max}} e[i]$$

Ha az adott $\boldsymbol{avg(e)}$ érték nagyobb az aktuális $\boldsymbol{C}$ értéknél, azt mondhatjuk, hogy ütést találtunk. Ezután az $\boldsymbol{e_{buffer}}$ értékeit feltöltjük a soron következő értékekkel és újra ugyan ezeket a lépéseket hajtjuk végre.

Az ütések helyeit eltároljuk, és bizonyos periódusonként kiszámítjuk a jel tempóját.

Ha az adott hang energiaszintje nem változik, elég lehet a küszöb értéket egyszer kiszámolni, de a pontosabb mérés érdekében érdemes ezt folyamatosan korrigálni.

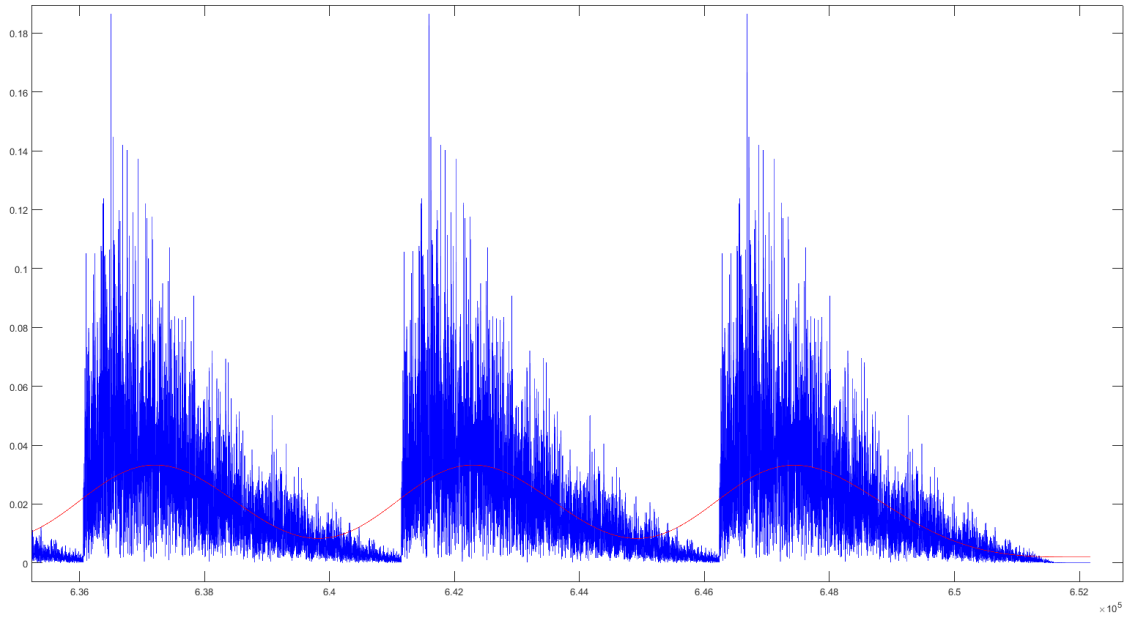
3.2.2 Előfeldolgozás

Forrás: http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/digitalis_jelfeldolgozas/ch07.html

http://joesul.li/van/beat-detection-using-web-audio/

A bemenő jel egy sztereó jel. Ennek csatornáit összegezni kell, ügyelve arra, hogy ne oltsák ki egymást a két csatornai jelei, ha ellentétes fázisban érkeznének be. Ez az előző 3.2.1-es módszernél is fent állt.

A jel a következőképpen néz ki:



A kék az eredeti összegzett hang a piros az aluláteresztő szűrő alkalmazása utáni jel…

A fenti képen kékkel ábrázolva három ütés mintája látható. Megfigyelhető, hogy egy ütés menete sok amplitúdó változást tartalmaz mind a felfutás, mind a lecsengés során. Az itt is látható gyors változásokkal teli jelet nehéz feldolgozni, ezért a cél egy simább jel kinyerése.

Forrás: http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/digitalis_jelfeldolgozas/ch07.html

Széles körben elterjedt és jól alkalmazható erre a célra az aluláteresztő szűrő, így végül erre esett a választásom. A szűrő választás hátterére részletesebb kitérő található a [233232. fejezetben]

A szűrő hatása a fenti képen figyelhető meg. Látható, hogy ezen jel már sokkal simább és nem tartalmaz nemkívánatos hirtelen változásokat.

3.2.3 Ablakillesztéses módszer

http://joesul.li/van/beat-detection-using-web-audio/

A kiindulási állapot, hogy rendelkezésre áll az információ a jelben lévő ütések helyeiről. A következő lépés, ezek alapján a tempó megállapítása.

Az ötlet a cikk alapján a következő, egy adott tempó alapján kirajzolható egy úgynevezett konvolúciós ablak. A módszer alapja, hogy ezt az ablakot próbálja ráilleszteni a rendelkezésre álló jelre. Az illesztést több tempó által meghatározott ablakkal elvégezve és ezek eredményeit összehasonlítva, kiválasztható a legjobban illeszkedő ablak, amelyből visszaszámolható a tempó.

3.2.4 Ütemtávolság gyakorisága

Forrás: http://joesul.li/van/beat-detection-using-web-audio/

A kiindulási állapot, hogy rendelkezésre áll az információ a jelben lévő ütések helyeiről. A következő lépés, ezek alapján a tempó megállapítása.

A módszer lényege a következő, egy adott ütés helyét összemérve az összes többi ütés helyével, különböző távolságértékek állnak elő. A kiszámolt távolságok alapján megkaphatjuk, mekkora a leggyakoribb érték.

Például:

Távolság(ms)	Gyakoriság
1.6	21
1.1	12
0.8	2

Ezen információ alapján kiszámolható a hangra jellemző tempó.

További javítás, hogyha figyelembe vesszük, hogy az adott távolságok egymás többszörösei lehetnek, ami annyit jelent hogy minden második ütést talált meg az eljárás vagy minden x-ediket, ha ezen információt is figyelembe vesszük, és csoportosítást végzünk ezek alapján, pontosabb eredményt kapható.

4. Tervezés

A tervezés arra szolgál, hogy az ismertetett feladathoz a lehető legjobb megoldást találjam, és a tényleges implementáció előtt, ezeket kipróbálhassam és összehasonlíthassam. A tervezéshez

használt eszköz a MatLab, amely lehetőséget nyújt az egyszerű összehasonlításra és az előre megírt eszközei segítségével, gyorsan implementálhatóvá teszi a kívánt eljárást.

4.1 Analóg és Digitális hang

Megkülönböztethetünk analóg, illetve digitális hangot, melynek fontos szerepe van a feladat szempontjából. Az analóg hang időben folytonos, míg a digitális hang diszkrét. A feladat során a bemeneti jel analóg, amit a számítógép digitális jellé alakít és a tényleges feldolgozás már ezen a jelen történik.

4.1.1 Hangtechnikai alapfogalmak

Forrás: http://magasztos.hu/tananyag/MaczikM_Hangtech.pdf

Hallható hang: Rugalmas közegben fellépő mechanikus rezgéseket 20Hz és 20kHz közti frekvenciatartományban hallható hangnak nevezzük.

Frekvencia: A hanghullám az egyik hangnyomás maximumától a másik hanghullám maximumáig tart, amelyek sűrűsége megadja a másodpercenkénti rezgésszámot, azaz a frekvenciát. A periódus idő reciproka. f = 1/T

Amplitúdó: A rezgés amplitúdója határozza meg a hangerőt.

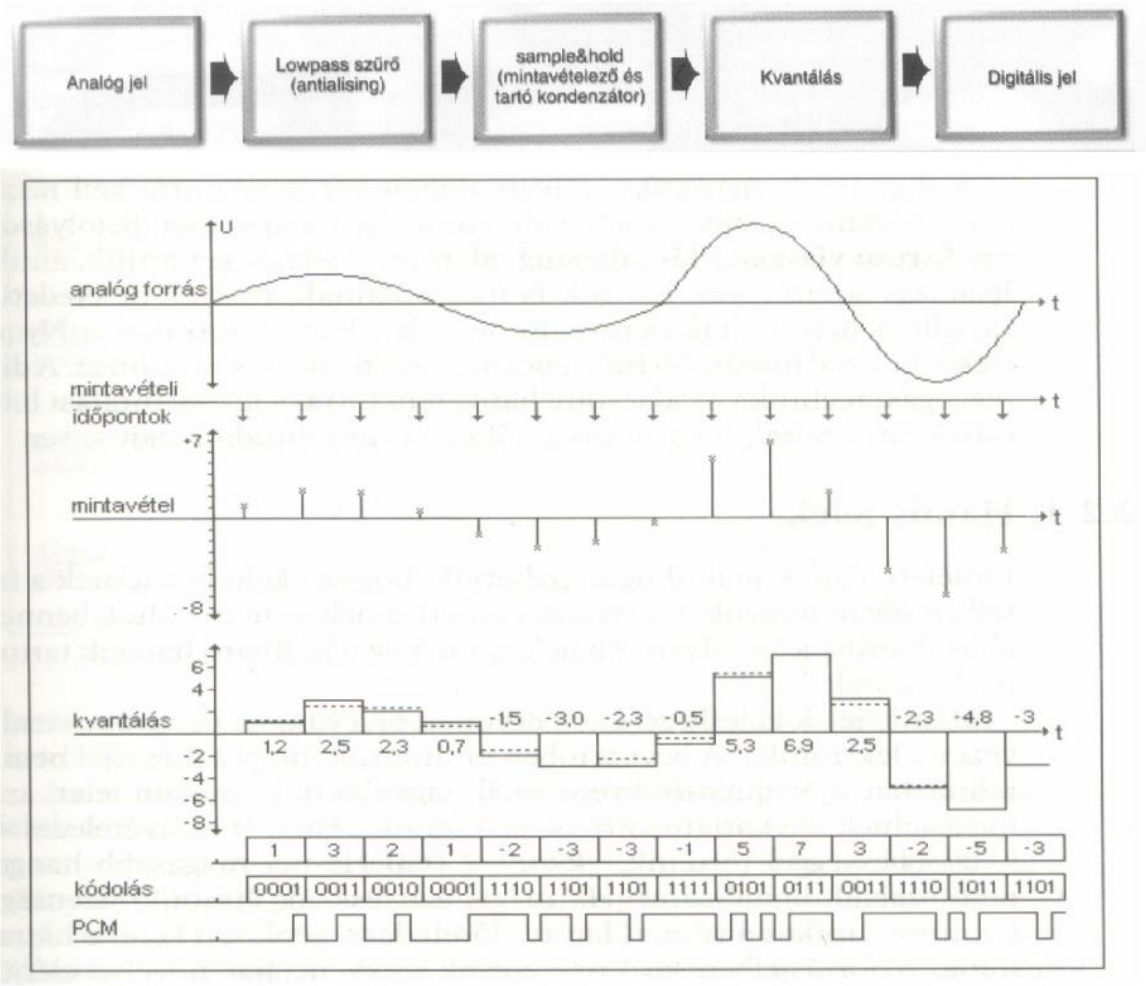
Mikrofon: A levegő mechanikai rezgéseit, sebesség, illetve nyomásváltozásait elektromos energiává alakítja.

CD minőség: (16 bit, 44,1 kHz) Az egyik legelterjedtebben alkalmazott felbontás.

AD konverzió(Analóg jel digitalizásála):

A felvétel során a keletkezett hangnyomás a mikrofon membránját rezgeti. A rezgéseket a mikrofon feszültség értékekké alakítja, amelyek már könnyen kezelhetőek. Ez a jel még analóg folytonos jel, azonban a számítógép számára digitális jelekre van szükség.

A jel digitalizálása során a Nyquis-Shannon tétel alapján a hallható hang alapján ,amely 20Hz - 20kHz közötti, a mintavételi frekvencia el kell érje a 40kHz-et. A mintavétel során az eredeti hangban nem jelenlévő összetevők is belekerülnek a vett jelbe(aliasing hatás). Ennek kiküszöbölésére aluláteresztő szűrőt alkalmaznak, amely a 20kHz feletti frekvenciakomponenseket csillapítja(antialiasing). Ezután következik a mintavételezés, majd ahhoz, hogy az értékeket egész számként rögzíthessék, kvantálást hajtanak végre. A folyamat legvégén előáll a digitális jel, amely számítógép segítségével is könnyen kezelhető.



forrás: http://magasztos.hu/tananyag/MaczikM_Hangtech.pdf

Fourier tétel: Minden folytonosan változó periodikus jel felbontható állandó frekvenciás szinuszhullámok összegére.

Nyquis-Shannon tétel: Egy jelsorozat szinuszos összetevői közül a legnagyobb előforduló frekvencia kétszeresével mintavételezett jelsorozat egyértelműen reprezentálja az eredeti jelet.

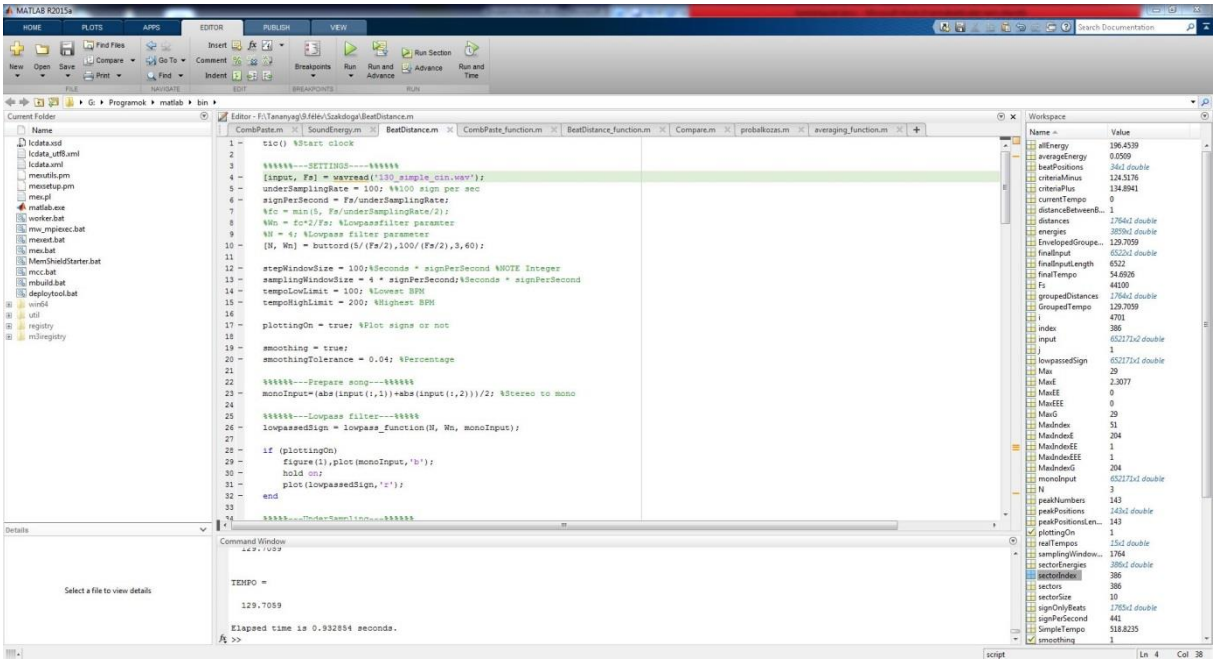
4.2 Választott eszközök

4.2.1 MatLab

Az eljárás megtervezéséhez használt eszköz a MatLAb, , ami lehetőséget biztosít különböző analízisek, matematikai műveletek elvégzésére és tervezések megvalósítására egy saját programozási nyelv használatával.

Előnyei, hogy rengeteg eszköz áll rendelkezésre, amely meggyorsítja a tervezést, ilyenek a különböző szűrő tervezők vagy az előre implementált matematikai függvények. Tökéletes eszköz egy adott eljárás eredményének szemléltetésére, rendkívül rugalmas és könnyen használható ábrázolási eljárásokat tartalmaz.

Nagy segítség a program használata során a körülötte kialakult nagy létszámú és nagy tapasztalattal rendelkező közösség, ezáltal könnyű egy-egy adott problémára megoldást találni és az alkalmazás fejlődése is folyamatos.



Az általam használt verzió: R2015a

A program könnyen telepíthető és használható. A dolgozatban található grafikonok jelentős része ezen program segítségével készült.

Megjegyzés: Ügyelni kell, hogy a számítógép hardvereinek driverei megfelelően működjenek és telepítve legyenek. Előfordulhat, hogy a program hibaüzenet nélkül állítja le a működését, ha valamilyen illesztőprogram működése nem megfelelő.

Rendszer követelmények: …

4.2.2 JUCE

A JUCE egy zenei alkalmazások fejlesztését támogató eszköz, amely egy nagy teljesítményű professzionális eszköz. Elérhető a legnépszerűbb platformokra, mint Windows, Mac, Linux.

Segítségével összetett alkalmazások fejleszthetőek egyedi igények szerint, továbbá támogatja VST, AU és AAX pluginok fejlesztését is.

Amiket rendelkezésre bocsát:

1. Könnyen szerkeszthető felhasználói felület

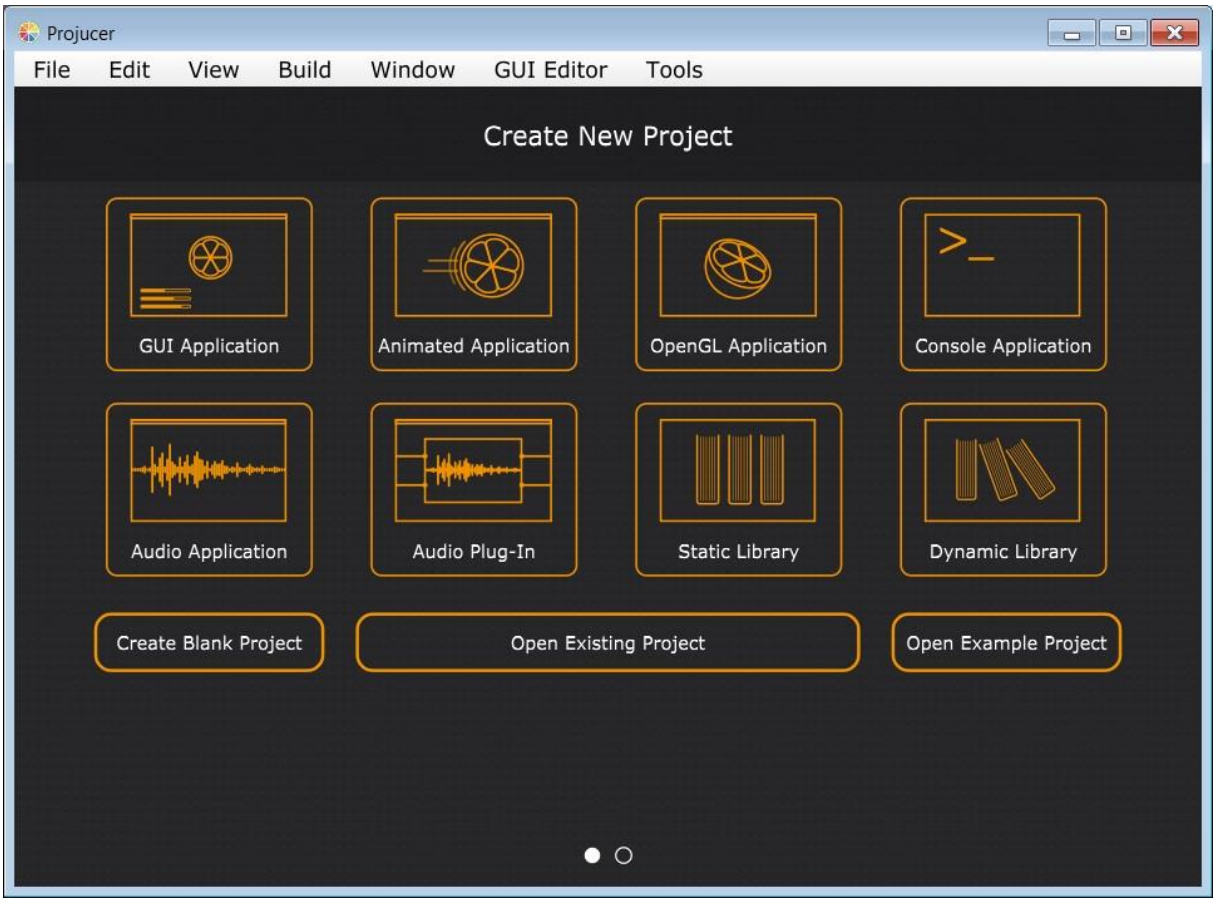
2. Egyedi fordító és futtató környezet

2. Plugin fejlesztési lehetőség

3. Széles körű formátum támogatás

A fejlesztés nyelve C++, melyhez bármilyen IDE felhasználható.

Az újabb verzió lehetőséget teremt mobil platformokra való fejlesztések számára is.



Az általam használt verzió: JUCE 5.2

Megjegyzés: Az alkalmazás telepítése során ügyelni kell az elvárt szoftverek megfelelő állapotára és verziójára. A tapasztalataim szerint, ezt a verziót célszerű a Microsoft Visual Studio 2017-es változatával használni, amely a legújabb C++ könyvtárakat tartalmazza. További hibalehetőség, ha Windowson nincs feltelepítve az Internet Explorer, ugyanis az alkalmazás a bejelentkezéshez beégetve ezt a böngészőt használná, de ha nem áll rendelkezésére nem ad vissza hibaüzenetet.

Rendszer követelmények:…

4.2.3 Git

A GIT egy verzió kezelő szoftver, amely lehetőséget biztosít a munka verziózására, illetve egy távoli szerveren való tárolására, ha a helyi mentés esetlegesen megsérülne.

4.2.4 FL Studio 12

Az FL Studio egy digitális audió munkaálomás. 18 éves fejlesztési múlttal és rengeteg hasznos funkcióval. Jelen téma esetében a referencia jelek előállítására használtam. Segítségével könnyen generálható bármilyen ütemmenet és beállítható annak tempója.

Redszer követelmények:…

4.2.5 Nero WaveEditor

A Nero által biztosított alap funkciókkal ellátott hangszerkesztő szoftver. Lehetőséget biztosít a hangformátumok könnyű konvertálására és vágására.

Használt verzió:

Rendszer követelmények:

4.3 Algoritmusok

4.3.1 Jel előkészítés

4.3.1.1 Szűrő választás (egyszerűbb, envelope, aluláteresztő)

2oldal

4.3.2.1 Módszer 1

3oldal

4.3.2.2 Módszer 2

3oldal

4.3.2.3 Módszer 3

3olda

4.3.3 Összehasonlítás

4oldal

4.3.4 Kiválasztás

1oldal

Indoklás

5. Implementáció

10sor

5.1 Környezet

fél oldal

5.2 Követelmények a programtól(TODO)

fél oldal

5.3 Program működése

1oldal

5.4 Bemutatás tesztelés

3oldal

5.5 Értékelés

1 oldal

5.5.1 Összehasonlítás MatLAb

2oldal

5.5.2 Összehasonlítás más programmal

2oldal

5.6 Továbbfejlesztési lehetőségek

fél oldal

6. Rövidítések