

Témalabor feladatok a Hangelemzés és -szintézis méréshez

Rucz Péter

2019. november 26.

1. Leírás

Az alábbi feladatok a süketszobában felvett lemez- és furulyahangok elemzéséhez kapcsolódnak. A lemezről készült felvételt a foglalkozás során rögzítettük, míg a furulyahang esetében egy korábbi felvétellel dolgozunk, melynek készítésekor fúvógép szolgáltatta meg a hangszert. A legtöbb lépéshez sok segítséget nyújtanak a mellékelt `elemzes_lemez.m` és `elemzes_furulya.m` szkriptek, a feladatok ezek kisebb módosításával, kísérletezéssel megoldhatóak.

A következő szakaszban olvashatjátok az önállóan megoldandó feladatokat. A feldolgozáshoz a Matlab használatát ajánlom, a lépéseket érdemes a két feladatcsoporthoz egy-egy `.m` szkriptből futtatni. A mérési adatok az alábbi helyről tölthetők le:

<http://last.hit.bme.hu/download/temalabor/hangelemzes/>

2. Feladatok

2.1. Megütött lemez hangjának vizsgálata és szintézise

1. Töltsd be a `lemez_meres.mat` fájlt, mely a mérési adatokat tartalmazza:

```
load('lemez_meres.mat');
```

Ennek hatására a Matlab workspace-be kerül a `data`, az `fs` és a `channels` változó. A `data` mátrix a mérési adatokat tartalmazza, `fs` a mintavételi frekvencia, a `channels` pedig az adatcsatornák szerepét mutatja.

2. A betöltött felvétel a lemez egymás utáni megütéseit tartalmazza. A további elemzéshez válassz ki egyet az egymást követő ütések közül. (Az utolsó ütés a lemezt függőleges irányban gerjeszti, így azt nem érdemes választani ehhez az elemzéshez.) Vágd ki az adatokból az ehhez az ütéshez tartozó jelszakaszt.
3. Számítsd ki a kivágott szakaszhoz tartozó spektrumokat az `fft` függvény segítségével. Állítsd elő a spektrumhoz tartozó frekvenciatengelyt, majd e tengely segítségével ábrázold az amplitúdóspektrumot. Az ábrázoláshoz lineáris frekvenciaskálát és logaritmikus amplitúdóskálát érdemes választani.
4. Válassz ki a spektrumból egy magas amplitúdóval bíró csúcst! Készíts egy szűrőt, mellyel a csúcshoz tartozó frekvencia környékére szűröd a jelet. Ehhez használhatod a `butter` függvényt, az alábbi módon:

```
[b, a] = butter(5, (880+20*[-1 1])/(fs/2));
```

A fenti hívás ötödfokú, 880 Hz középfrekvenciájú, a 880 ± 20 Hz tartományon áteresztő szűrőt alkot. A szűrőt ezután a `filter` függvénnyel lehet alkalmazni egy tetszőleges `x` jelre.

```
x_filt = filter(b, a, x);
```

A szűrő létrehozásakor ügyelni kell arra, hogy a megtervezett szűrő stabil legyen, a vizsgálathoz érdemes az `fvtool` Matlabba épített segédprogramot használni, mellyel könnyen

megjeleníthető a szűrő Bode-diagramja, impulzusválasza stb. Az előállított **b** és **a** együtthatókkal a segédprogram így indítható el:

```
fvtool(b,a);
```

Amennyiben a szűrő nem stabil, úgy vagy a sáv szélesség növelendő, vagy a mintavételi frekvencia csökkentendő. Utóbbihoz a `resample` függvény használható, pl. az $f_s = 51,2$ kHz mintavételi frekvenciáról az $f'_s = 10$ kHz-re az alábbi módon térhetünk át:

```
fs = 51200;  
fs_re = 10000;  
[p, q] = rat(fs_re / fs);  
x_re = resample(x, p, q);
```

Ábrázold a megszárt jelet az idő- és frekvenciatartományban, majd hallgasd is meg a `soundsc` függvény használatával, hasonlítsd össze a lemez eredeti hangjával.

5. Additív szintézis. Folytatva az előző feladatot, válassz ki a spektrumból különböző csúcsokat, majd mindegyikhez készíts szűrőt, majd az egyes frekvenciasávokra szárt jelek összegzésével állíts elő szintetizált jelet. (A szűrőtervezés és szűrés lépéseit érdemes ciklusba szervezni.) Hasonlítsd össze az eredeti hangjelet a szintetizálttal, ábrázolva és meghallgatva a mintákat.

2.2. Furulyahang elemzése és szintézise

1. Töltsd be a süketszobában felvett furulyhangot az `audioread` függvény használatával:

```
[x_in, fs] = audioread('recorder_C5_110Pa.wav');
```

Ábrázold a betöltött adatokat! A felvételen a furulya egymás után háromszor szólal meg. A további vizsgálathoz vágd ki az egyik megszólaláshoz tartozó állandósult amplitúdójú szakaszt, a további lépéseket pedig ezen a kivágott jelszakaszon végezd el.

2. Ábrázold a jel spektrumát! Figyeld meg a harmonikusan elhelyezkedő csúcsokat, az ezekhez tartozó frekvenciákat és amplitúdókat!
3. Alapfrekvencia pontos meghatározása. Vizsgáld meg az `elemzes_furulya.m` szkriptben található részt az alapfrekvencia pontos meghatározására. A módszer lényege, hogy a jel spektrumát egy komplex moduláló jellel szorozva eltoljuk, úgy, hogy az eredeti jel alapfrekvenciája a zérus frekvencia közelébe essen. Ezután aluláteresztő szűréssel a felharmonikusokat kiszűrjük a jelből. Azt várjuk, hogy a szárt jel lassan ingadozó komplex exponenciális jel, melynek frekvenciáját az egymás követő minták fáziskülönbségéből becsüljük meg. Eből adódik a pontosított alapfrekvencia.
4. Újramintavételezés. Az alapfrekvencia pontos meghatározása után érdemes a jelet a megmért alapfrekvencia egész számú többszörösével újramintavételezni. Ekkor ugyanis a spektrum számításakor biztosíthatjuk a koherens mintavételezést, amivel elkerüljük az úgynevezett spektrális szivárgást (*spectral leakage*) és a léckerítés hatást (*picket fence effect*), így pedig pontosan meg tudjuk határozni az egyes harmonikusokhoz tartozó amplitúdókat. A `resample` függvény segítségével változtasd meg a mintavételi frekvenciát pl. az alapfrekvencia 64-szeresére.
5. Spektrális burkoló. Számítsd ki az újramintavételezett jel spektrumát biztosítva a koherens mintavételezést! A kiszámított spektrum alapján határozd meg a harmonikusok amplitúdóiból a jel spektrális burkolóját! Ábrázold a spektrumot és a burkolót!

6. Hangszintézis. Állíts elő a harmonikusok frekvenciájának megfelelő szinuszjeleket, majd ezeket add össze a kiszámított amplitúdók felhasználásával! Hallgasd meg az így előállított szintetizált jelet és hasonlítsd össze az eredeti jellel. Próbáld ki, hogyan változik a hangszín, ha az első 2–3–5–10 harmonikus jelét szintetizálod. Mit tapasztalsz?
7. ADSR szintetizátor (szorgalmi feladat). Az előző feladatban szintetizált hangjelhez készítsd ADSR (*Attack–Decay–Sustain–Release*) burkológörbét! Hasonlítsd össze a burkológörbével és anélkül szintetizált hangjeleket! Hasonlítsd össze az eredeti és az ADSR burkulóval szintetizált hangjeleket!