Pràctica 1 PDS: Processament de senyals 1D

Juan Gabriel Gomila Salas

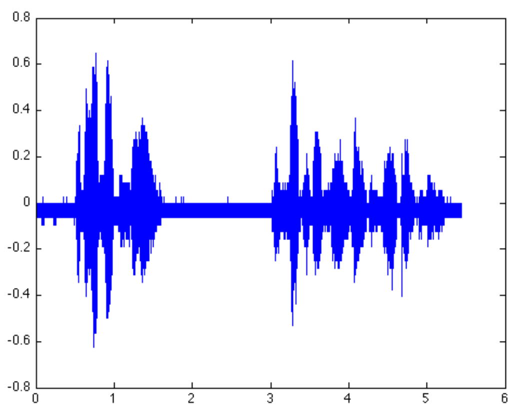
Exercici 3: Anàlisi de senyals de veu i filtratge

1. Reproduir el senyal de veu 'awake.wav' des d'una finestra de Windows.

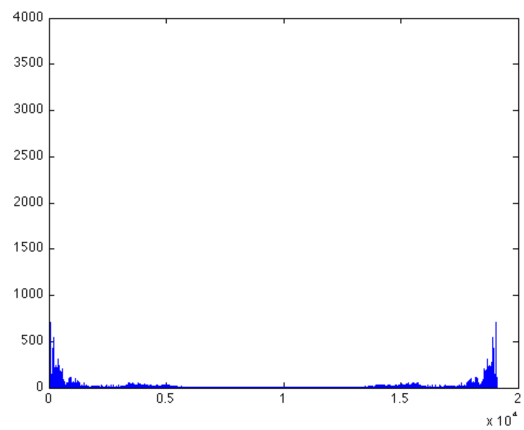
'You ever have that feeling where you're not
sure if you're awake or still dreaming'
(The Matrix, 1999)

2. Obrir el senyal des de Matlab emprant la funció 'wavread'.

3. Representar el senyal i calcular la seva FFT. Representar-la.



a)



b)

Figura 1: A l'esquerra, imatge a) representació del senyal en funció del temps $0 \leq t < 6$ en segons. A la dreta, imatge b) representació de la seva transformada de Fourier en funció de la freqüència $0 \leq f \leq 22050$

A la figura 3 podem observar tant la representació temporal del so (imatge a) com la representació freqüencial de la seva transformada de Fourier (imatge b). En aquesta segona, podem observar que es tracta d'una funció simètrica respecte el centre del seu suport (que és 11025 Hz) i que, per tant, el nostre so conté freqüències entre 0 i 11025 Hertz.

4. Reconstruir el senyal continu original a partir de la fòrmula de reconstrucció de Shannon.

   El nostre senyal original tenía $n = 120064$ mostres, amb una freqüència de mostreig de $F_S = 22050$. Per tant, el seu periode de mostreig és $Ts = \frac{1}{Fs} = 4.5351 \cdot 10^{-5}$. Com que és un senyal amb moltes mostres, el que farem primer serà agafar-ne una part només (entre les mostres 1 i 50000), so que anomenam 'awake_curt.wav" i aplicarem la reconstrucció de Shannon amb un periode $T = \frac{T_s}{2} = 2.2676 \cdot 10^{-5}$.

   El resultat és un senyal, que té 100000 mostres, i que si reproduïm amb una freqüència el doble que l'original, $F'_s = 2 \cdot Fs = 44100$, sona essencialment igual que el senyal original; no s'introdueix cap renou nou ni desapareix cap so antic. El resultat es pot trobar a l'arxiu 'awake_mostrejat_curt.wav'.

5. Mostrejar el senyal reconstruït amb diferents periodes de mostreig diferents de l'original i reproduir el resultat.

   Ara, mostrejarem el senyal de l'exercici anterior amb diferents periodes de mostreig. En general, si feim un mostreig consistent en agadar un de cada p senyals, haurem de reproduir el so a una freqüència $\frac{F'_s}{p}$ per tal de conservar la coherència del so.

   - Si $p = 2$, el so resulta ser el mateix que l'original, de forma que recuperam el so inicial.
   - Per $p = 3, 4, 5$, notam cada cop, com el senyal va perdent claretat, i el renou de fons es va incrementant.
   - Per $p = 10, 20$, el so sembla ja escoltat a travès d'una radio amb soroll de fons, de forma que s'ha perdut la claretat del so inicial.

   Es a dir, a mesura que hem aumentat el periode de mostreig, ha aparegut el fenòmen de l'aliasing, i no s'ha pogut reconstruir el so completament a partir de les mostres donades. Han estat insuficients. Els resultats dels experiments es poden trobar en els arxius 'awake_mostrejat_curt_p.wav', per $p = 2, 3, 4, 5, 10, 20$.

6. Utilitzar la funció *wavwrite* per guardar el senyal amb periodes de mostreig diferent de l'original i reproduir els resultats.

   Aquesta vegada tornam a partir del so inicial. Si el reproduïm amb freqüència el doble de l'original, el so resulta ser la meitat de curt, i dóna la sensació de rapidesa, com si el passessim ràpidament (so 'awake_fast.wav)'. En canvi, si el reproduïm amb freqüència la meitat de l'original, el so resulta ser el doble de llarg, i ens dóna sensació de lent, com si ara el so el passessim a càmera lenta (so 'awake_slow.wav').

7. Aplicar diferents filtres freqüencials al senyal (passa-baix, passa-alt, passa-banda) i reproduir els senyals resultants.

   Considerem la figura 7 que mostra la transformada de Fourier del senyal original, en l'espai de les freqüències (hem de pensar que, com que la transformada de Fourier és un senyal periodic i simètric respecte del centre, quan eliminem una banda a un costat del senyal, hem de fer el mateix a la banda simètrica d'aquest per coherència).

   - En la imatge a), hem aplicat un filtre passa baix, conservant les mostres del senyal compreses entre les posicions $k_1 = 1$ i $k_2 = 8000$ del nostre array. Per tant, hem conservat les freqüències del nostre senyal compreses entre:

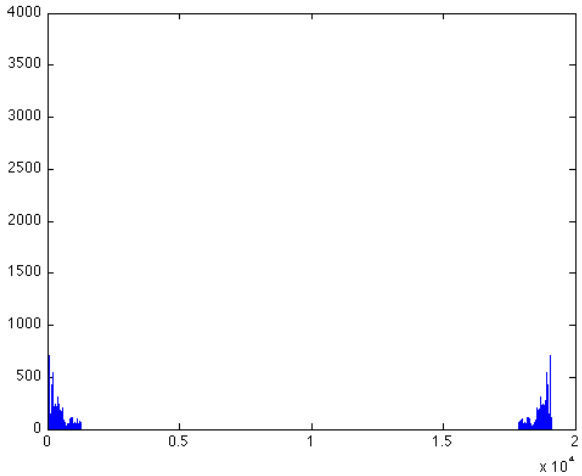
     $$f_1 = \frac{k_1 - 1}{n} F_s = 0\text{Hz}; \quad f_2 = \frac{k_2 - 1}{n} F_s = 1469\text{Hz};$$

     és a dir, les baixes freqüències. Si reproduïm el senyal 'awake_passaBaix.wav', podem escoltar com només han quedat els sons més greus del senyal original (sobretot si escoltam per exemple el renou de fons, que sembla molt més apagat.

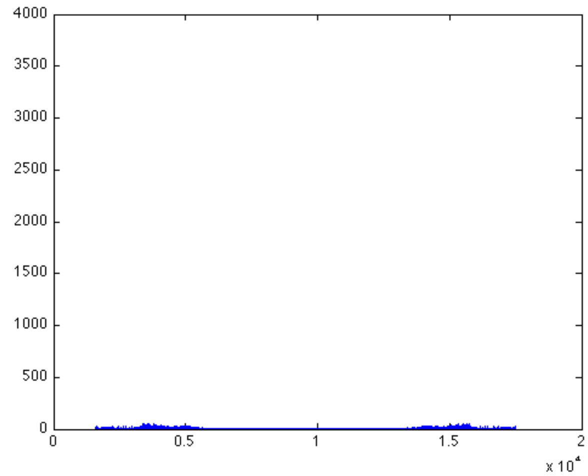
   - En la imatge b), hem aplicat un filtre passa alt, conservant les mostres del senyal compreses entre les posicions $k_1 = 10000$ i $k_2 = \frac{n}{2}$ del nostre array. Per tant, hem conservat les freqüències del nostre senyal compreses entre:

     $$f_1 = \frac{k_1 - 1}{n} F_s = 1469\text{Hz}; \quad f_2 = \frac{k_2 - 1}{n} F_s = 11025\text{Hz};$$

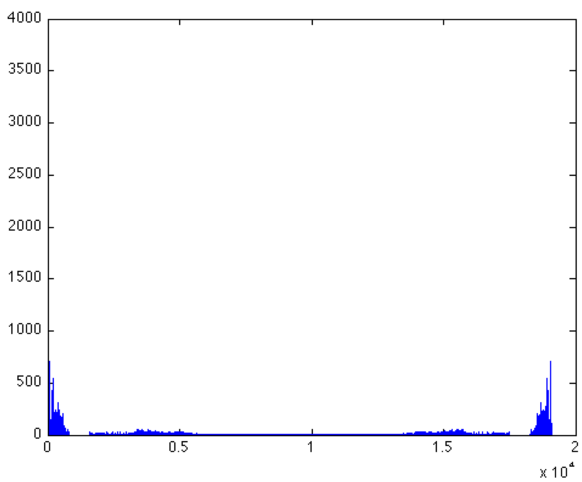
     és a dir, les altes freqüències del senyal. Si reproduïm el senyal 'awake_passaAlt.wav', notam que la veu del protagonista, és gairebe imperceptible, i han quedat traces del renou de fons del senyal. Això és degut a que, com que només tenim els sons més aguts, els detalls més greus han estat eliminats del senyal original.



a)



b)



c)

Figura 2: A dalt a l'esquerra, imatge a) representació del senyal en l'espai de freqüències havent-li aplicant un filtre passa baix. Al dalt a la dreta, imatge b) representació del senyal havent-li aplicant un filtre passa alt. Finalment, a baix, imatge c), representació sel senyal havent-li llevat una banda de freqüències.

- Finalment, en la imatge c), hem aplicat un filtre lleva banda, eliminant les mostres del senyal compreses entre les posicions $k_1 = 5000$ i $k_2 = 10000$ del nostre array. Per tant, hem eliminat les freqüències del nostre senyal compreses entre:

$$f_1 = \frac{k_1 - 1}{n} F_s = 918\text{Hz}; \quad f_2 = \frac{k_2 - 1}{n} F_s = 1836\text{Hz};$$

  és a dir, les freqüències més intermitges del senyal. Si reproduïm el senyal 'awake_llevaBanda.wav', notam que el soroll de fons és mes suau, i que la veu del protagonista ha canviat una mica, com si fos mes rodona (segurament, una part de l'espectre de la seva veu està inclosa dins aquest rang de freqüències).

Si volguessim eliminar, per exemple, el renou de fons del senyal, ens podríem entretenir, a base d'assaig-error, a cercar quins intervals de freqüències exacte es correspon amb dit renou, i, amb una mica de sort, aquestes freqüències no es correspondrien amb la freqüència de la veu de Keanu Reeves. Aplicant successius filtres dels mostrats en aquest exercici, podriem netejar el senyal i aconseguir un senyal de veu, més o manco acceptable de l'audio de la pel·lícula.

8. Filtratge per convolució: filtre de mitjana. Convolucionar el senyal original amb el senyal $u = [\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}]$ (emprar la funció *conv* de Matlab). Relacionar l'operació de convolució amb la FFT dels senyals convolucionats. Escriure una funció de Matlab que apliqui n vegades el filtre de mitja al senyal original. Reproduir els resultats del filtratge.

   Hem pogut comprovar el resultat d'aplicar dit filtre al senyal 2, 5, 20 i 100 vegades. Tot i que a la primera iteració, sembla millorar la nitidesa del senyal (en el sentit, que la veu del protagonista és més clara i audible), a mesura que anam fent iteracions del filtre de mitjana, la veu de Keanu Reeves es va fent més monòtona, més distant. A banda d'això, el so també perd el renou de fons, de forma que, d'una banda guanyam en qualitat de so (eliminam renou), però de l'altra, la veu del protagonista s'enmascara. Això és degut a que un filtre de mitjana aplicat iteradament, tendeix a anivellar el contorn del so, de forma que, si l'apliquessim infinites vegades, el so seria absolutament pla. Això explica l'enmascarament de la veu de l'actor i la pèrdua de renou: els pics del renou, van fent mitjana amb les mostres que tenen a prop seu, i per tant disminueixen d'alçada, mentres que la veu de l'actor, que presenta oscil.lacions en el so inicial (basta veure la figura 1 a) també s'anivella, arribant a un punt on el so és gairebé pla.

Els resultats dels experiments es poden trobar en els arxius 'awake_mitjana_N.wav', on $N = 2, 5, 20$ i 100.

9. Filtratge no lineal: filtre de mediana. Escriure una funció de Matlab que calculi el filtratge de mediana d'un senyal. Aplicar la funció al senyal de veu original per a diferents valors dels paràmetres i reproduir els resultats.

   En el filtratge per mediana de radi k, el que feim és quedar-mos amb la mediana de les $2k+1$ mostres per la mostra del so en questió (és a dir, un cop ordenades de forma creixent les $2k+1$ mostres del so, assignat el valor central, a la mostra inicial). Com més gran sigui k, més mostres entraran en joc a l'hora de fer la mediana, i per tant, el resultat pot ser més inesperat (el valor que assignem a la mostra $j-$èssima del so, pot esser qualssevol entre la $j-k$ i la $j+k$, per tant, la semblança entre una i altra pot ser nul·la).

   En el nostre cas, hem fet proves amb $k = 1, 2, 3, 5, 10$ i 20.

   - Per $k = 1, 2$ els resultats són bastant bons, ja que la veu del protagonista queda bastant ben definida, encara que el renou es manté.
   - Per $k \geq 3$, el resultat ja no és tan bo, ja que el renou augmenta considerablement, enterbolint l'audició de la veu de l'actor. El cas més desfavorable és sense cap dubte, per $k = 20$, quan, fins i tot la veu de l'actor és purament renou al llarg de tota l'audició.

   Els resultats dels experiments es poden trobar en els arxius 'awake_mediana_k.wav', on $k = 1, 2, 3, 5, 10$ i 20.

De les tècniques emprades per a la millora del so inicial, tal volta les més eficaces siguin els filtres freqüencials, amb l'inconvenient, de que per eliminar el renou, s'ha de localitzar primer a quin espectre freqüencial correspon (afegit a la possibilitat de que, eliminant el renou, eliminem també part del so que volem conservar). El filtre de mitjana, tot i que si que acaba reduint el renou a base de fer iteracions, acaba enmascarant el senyal que volem conservar, així que a la pràctica no resulta tan convinent com el de mediana, que per radis petits, ens ha demostrat una de les qualitats de so més bones de tot l'experiment.