Όνομα: Κυλάφη Χριστίνα-Θεανώ
E-mail: lt1200012@di.uoa.gr
AM: LT1200012

DSP - Project 3

Task 1

Έχοντας τα 3 ηχητικά σήματα[1] που ηχογραφήθηκαν για προηγούμενες ασκήσεις (φωνήματα /**a**/, /**o**/ και /**e**/), έγιναν τα εξής βήματα:

1. Για κάθε σήμα εφαρμόστηκε ο **FFT** (Fast Fourier Transform) σε ένα μέρος του (αποκοπή ενός μέρους των δειγμάτων από τη μέση του σήματος)

2. Υπολογίστηκε το **magnitude (polar representation)**:

$$\text{Mag}_{signal} = \sqrt{fft\_signal^2_{real} + fft\_signal^2_{imaginary}}$$

3. Κρατώντας μόνο το πρώτο μισό των τιμών του magnitude, μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία με χρήση κώδικα, σχεδιάζουμε τα **4 σημεία / bins με τη μεγαλύτερη ενέργεια**, όπως φαίνεται και στα **Figures 1**, **2** και **3**.

Λόγω της φύσης των παραπάνω ηχητικών σημάτων ως **σύνθετοι** ήχοι (ανθρώπινη φωνή σε μη - επαγγελματική ηχογράφηση) και όχι καθαροί τόνοι, το γράφημα που αναπαριστά το **magnitude** των 4 πιο “ισχυρών” ενεργειακά bins (**peaks**), δεν αποτελεί τον καταλληλότερο τρόπο εύρεσης της θεμελιώδους συχνότητας αυτών των σημάτων. Ο ήχος που αποτελεί φυσική ομιλία, ξεκινά από τους παλμούς των φωνητικών μας **χορδών**, οι οποίοι καθορίζουν την f_0 (fundamental frequency) του και εξέρχεται από το φωνητικό κανάλι, περνώντας από φιλτράρισμα ανάλογα με τις θέσεις και το σχήμα των **αρθρωτών**, αποκτώντας και **αρμονικές** συχνότητες (formants λόγω αντίχησης στην κοιλότητα). Αποτελεί **ψυχοακουστικό** χαρακτηριστικό, καθώς αντίληψή της διέπεται από **υποκειμενικότητα**, η οποία εξαρτάται πολλές φορές από διάφορα άλλα χαρακτηριστικά όπως η **ένταση** ή η **φυσιολογία** του ανθρώπου που την αντιλαμβάνεται. Στα γραφήματα που ακολουθούν στο πεδίο των **συχνοτήτων**, θα δούμε πως η θεμελιώδης συχνότητα (**pitch**) ενός ηχητικού σήματος, δεν αποτελεί πάντα την κορυφή με τη μεγαλύτερη **ενέργεια**, καθώς υπάρχουν και οι **αρμονικές** αυτής, που βρίσκονται σε συχνότητες με τιμή, ακέραιο πολλαπλάσιο της f_0 (κυριως components f_1 και f_2) . Επιπλέον, σε περιπτώσεις που το input sample του αλγορίθμου FFT δεν είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της περιόδου του, παρατηρείται το φαινόμενο “**spectral leakage**”, παρουσιάζοντας παραποιημένες πληροφορίες για την f_0 . Αντ’ αυτού, υπάρχουν άλλες μέθοδοι όπως για παράδειγμα ο αλγόριθμος “**autocorrelation**” (αυτοσυσχέτισης), που είναι αρκετά αποδοτικός σε περιπτώσεις σημάτων με μεγάλη περιοδικότητα, όπως τα ηχητικά σήματα της άσκησης (έχει αναπτυχθεί κώδικας για την εύρεση του pitch μέσω της συνάρτησης **librosa.autocorrelation( )**).

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της συνάρτησης **autocorrelation**( ) της βιβλιοθήκης **librosa** ως προς τη θεμελιώδη συχνότητα των σημάτων, ήταν τα παρακάτω:

- f_0 του σήματος με το φώνημα / **a** / : **233.33** Hz
- f_0 του σήματος με το φώνημα / **o** / : **219.40** Hz
- f_0 του σήματος με το φώνημα / **e** / : **297.97** Hz

---

[1] Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα **φωνήεντα**, καθώς τα σύμφωνα που είχαν επιλεγεί ανήκουν στην κατηγορία των μη ηχηρών φθόγγων, των οποίων τα σήματα δεν έχουν περιοδικότητα συνεπώς ούτε και θεμελιώδη συχνότητα, εφόσον κατά την εκφώνησή τους δεν πάλλονται οι φωνητικές χορδές.

Αξιοποιώντας το λογισμικό Praat, έγιναν επιπλέον μετρήσεις για τα formants και την f_0 των σημάτων (**mean** values):

- φώνημα / **a** /
  - f_0 **: ~ 233** Hz
  - f_1 **: ~ 706** Hz (αν και αποτελεί 3η αρμονική)

- φώνημα / **o** /
  - f_0 **: ~ 219** Hz
  - f_1 **: ~ 490** Hz
  - f_2 **: ~ 920** Hz

- φώνημα / **e** /
  - f_0 **: ~ 298** Hz
  - f_1 **: ~ 560** Hz

Τα σήματα των φωνημάτων **a**, **o** και **e**, είχε υπολογιστεί “με το μάτι” πως είχαν αντίστοιχα συχνότητες **~230** Hz**, ~217** Hz **και ~ 294** Hz , συνεπώς υπάρχει εμφανής **απόκλιση** (αν και μικρή) μεταξύ των τιμών από τους παραπάνω υπολογισμούς και εκείνων της προηγούμενης εργασίας (σημαντικός παράγοντας αποτελεί και το σημείο από το οποίο προερχόταν το δείγμα της προηγούμενης εργασίας, που ίσως, όπως αποδείχθηκε, να μην ήταν το καταλληλότερο για τις μετρήσεις “με το μάτι”).

Τα γραφήματα **1**, **2** και **3**, μας οδηγούν στα εξής συμπεράσματα:

- Σε όλες τις περιπτώσεις εντοπίζεται η θεμελιώδης συχνότητα ή έστω μια προσεγγιστική τιμή αυτής

- Παρουσιάζονται ακέραια πολλαπλάσια της f_0 (ή προσέγγιση της τιμής τους) και κυρίως οι f_1 και f_2 (αρμονικές συχνότητες)

- Η υψηλότερη κορυφή (peak) άρα το σημείο με τη μεγαλύτερη “ενέργεια”, δεν είναι πάντοτε εκείνο που αντιστοιχεί στο bin της θεμελιώδους συχνότητας, καθώς όπως βλέπουμε, μπορεί η κορυφή να αντιστοιχεί σε αρμονική συχνότητα αυτής

Τελικά, όπως έχουν δείξει μελέτες, η θεμελιώδης συχνότητα απομονωμένα, δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στο task της **αναγνώρισης ομιλίας** (φωνημάτων). Το **φασματογράφημα** από την άλλη, τόσο σαν πηγή ποσοτικών δεδομένων μετά από μετρήσεις, όσο και από την ίδια την εικόνα του, μπορεί να προσφέρει αρκετές πληροφορίες για τα φωνήματα που έχουν εκφωνηθεί και αναπαρασταθεί σε αυτό.

Ακολουθούν τα 3 **γραφήματα**.

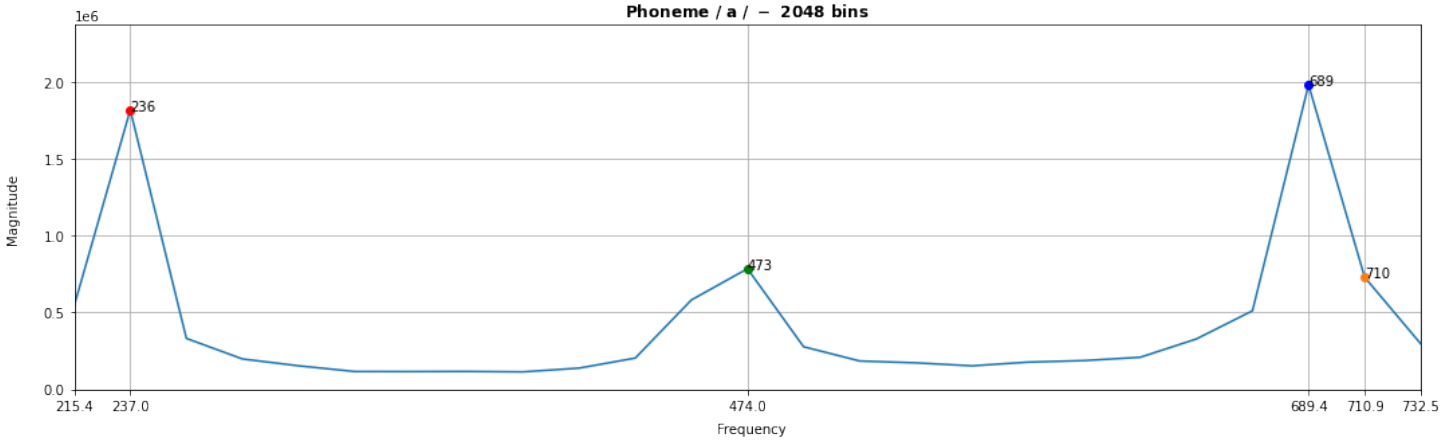


Figure 1

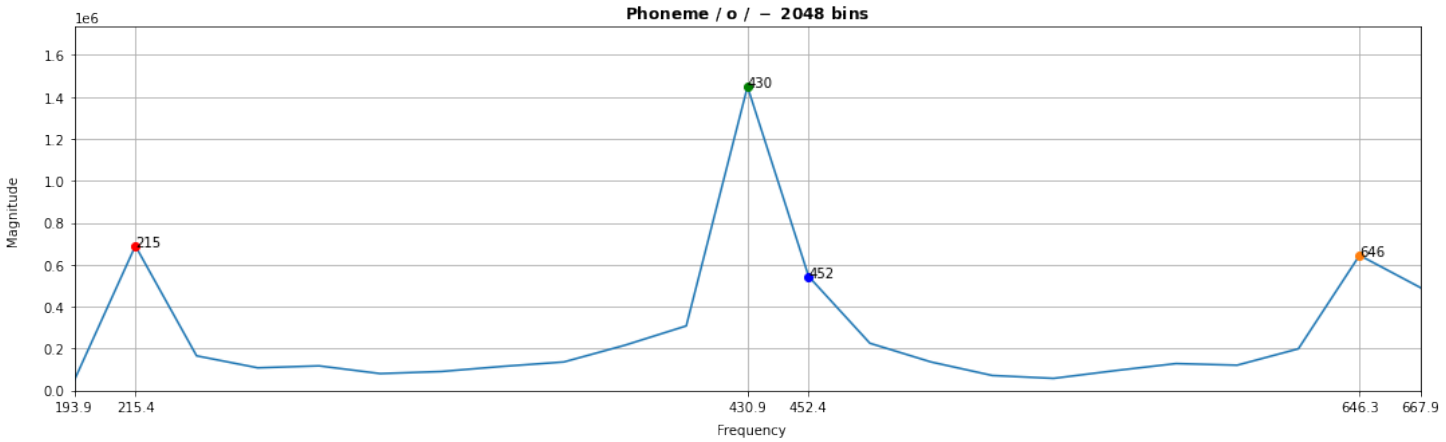


Figure 2

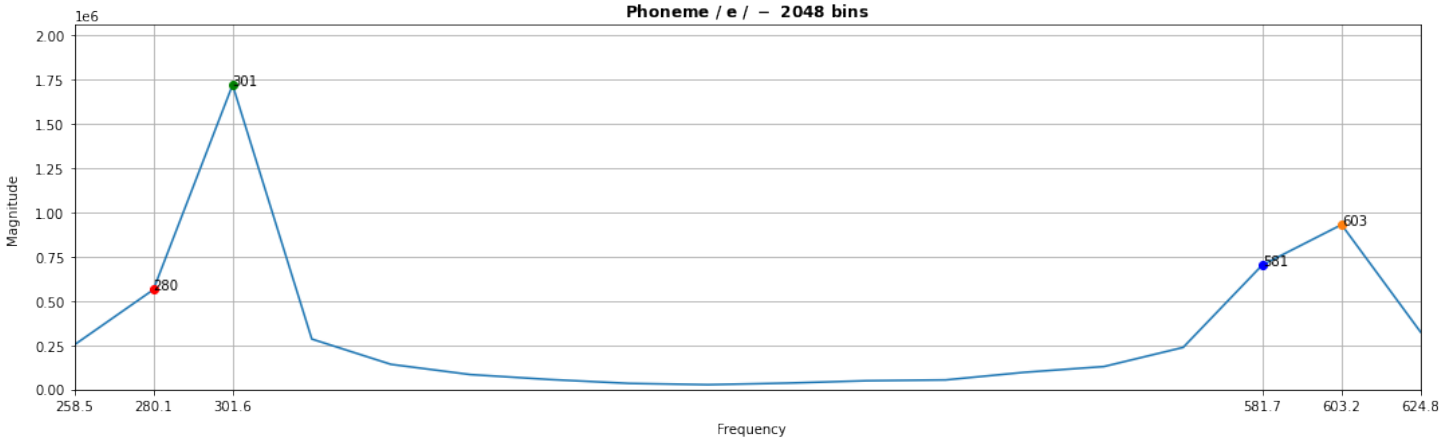


Figure 3

Task 2

Αρχικά, δημιουργήθηκε το τεχνητό σήμα

$$s = s_1 + s_2$$

όπου

$$s_1 = \sin(\ 2\pi f_1 t\ ), \quad f_1 = 50Hz$$

$$s_2 = \sin(\ 2\pi f_2 t\ ), \quad f_2 = 70Hz$$

με συχνότητα δειγματοληψίας $f_s = 44100Hz$.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε αυτό ο αλγόριθμος **FFT**.

Με παρόμοια λογική και διαδικασία όπως και στο **Task 1**, εντοπίστηκαν τα κοντινότερα bins στις συχνότητες του σήματος s και σχεδιάστηκαν σε γραφήματα, με διαφορερικό αριθμό **bins** κάθε φορά, ώστε να παρατηρηθεί το **ελάχιστο πλήθος** αυτών, ώστε να βρίσκονται οι 2 συχνότητες f_1, f_2 σε διαφορετικά bins.

Το εύρος συχνοτήτων που αντιπροσωπεύει κάθε bin, βρίσκεται ως εξής:

$$\text{resolution}_{\text{bin}} = \frac{fs}{\text{window\_size}} \qquad (1)$$

Άρα για παράδειγμα με τα δικά μας δεδομένα και με βάση τη σχέση (1) :

$$\text{window\_size} = 512 \implies \text{resolution}_{512} = \frac{fs}{\text{window\_size}} = \frac{44100}{512} = 86{,}132$$

$$\text{window\_size} = 1024 \implies \text{resolution}_{1024} = \frac{fs}{\text{window\_size}} = \frac{44100}{1024} = 43.066$$

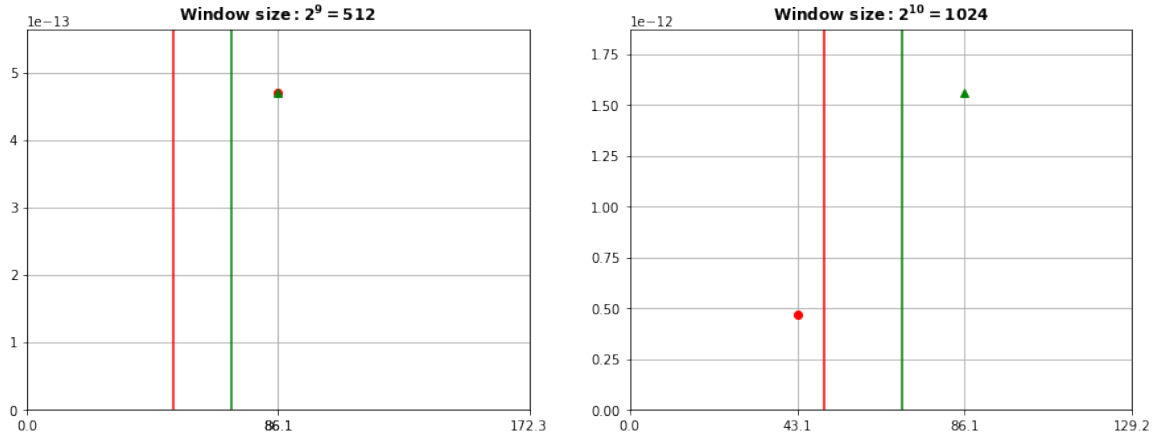
Άρα με το συγκεκριμένο $f_s = 44100Hz$, το ελάχιστο πλήθος bins ώστε να διαχωρίζονται οι συχνότητες 50 και $70\ Hz$ είναι όπως φαίνεται από τις παραπάνω σχέσεις, τα **1024** bins, καθώς λόγω του resolution όταν αυτά είναι 512 σε πλήθος, το 1ο bin θα περιλαμβάνει **και τις 2** αυτές συχνότητες, ενώ στα 1024, η συχνότητα 50Hz θα βρεθεί στο 1ο bin και η συχνότητα 70Hz στο 2ο.

Αντίστοιχα, εφαρμόζοντας τις ίδιες σχέσεις και για την

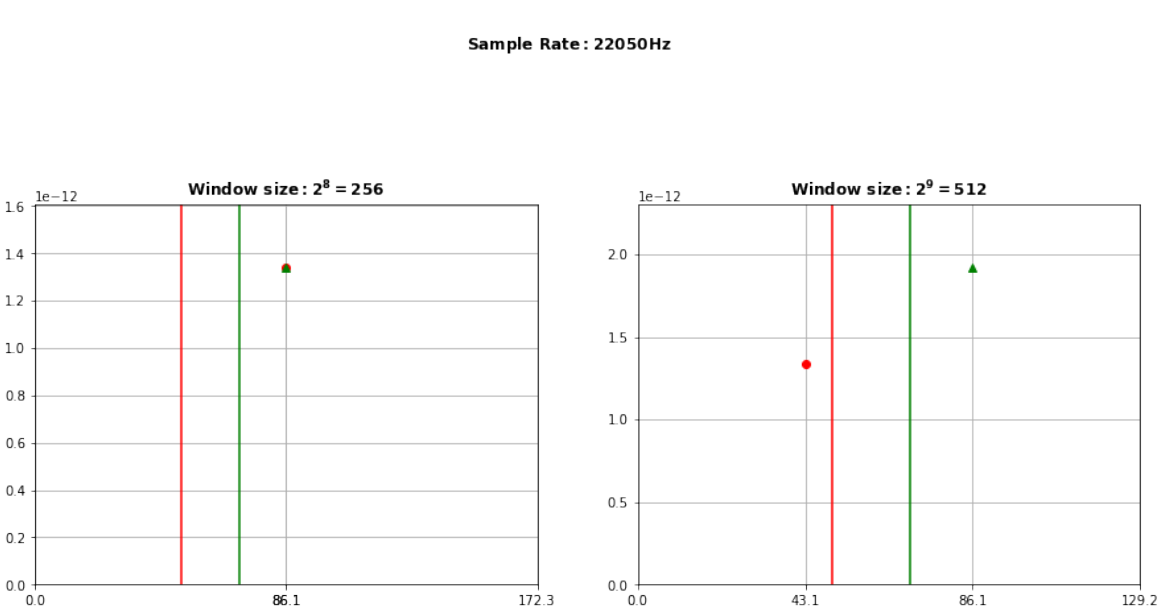
$$f_s' = \frac{f_s}{2} = \frac{44100}{2}\ Hz = 22050\ Hz\ ,$$

προκύπτει πως το ελάχιστο πλήθος των bins θα είναι **512**, δηλαδή ακριβώς τα μισά από εκείνα της προηγούμενης περίπτωσης.

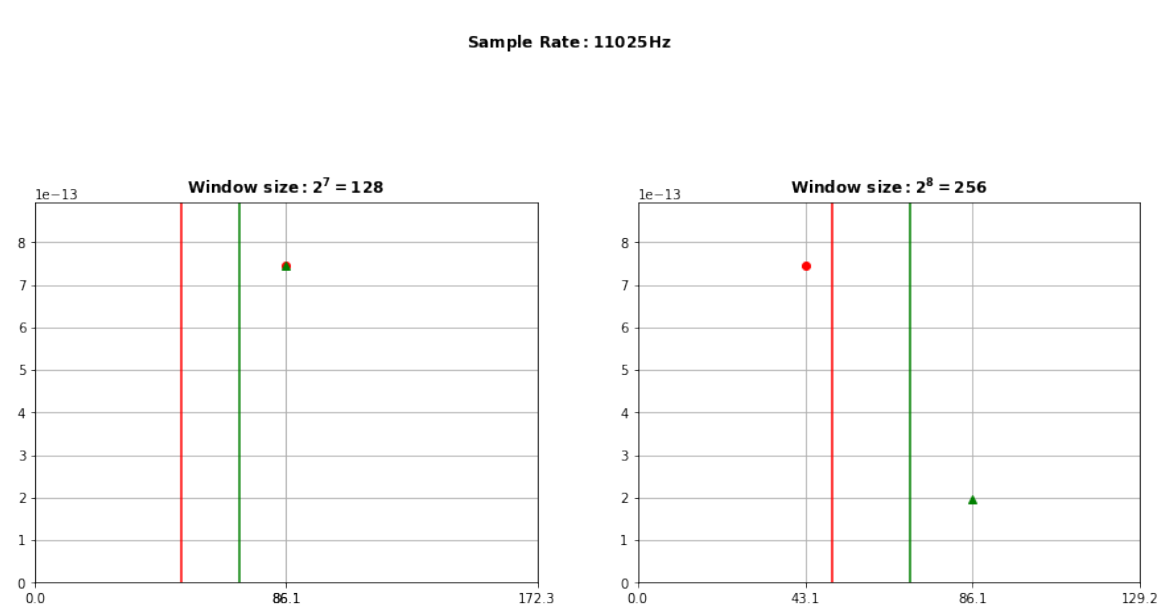
Sample Rate: 44100Hz



Sample Rate: 22050Hz



Sample Rate: 11025Hz



Task 3

Notes

Για την υλοποίηση των παραπάνω ζητουμένων, αναπτύχθηκε **κώδικας** που θα σταλεί μαζί με το παρόν αρχείο.