ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

ΗΥ-370: Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος
Χειμερινό Εξάμηνο 2016
Διδάσκοντες: Γ. Στυλιανού - Γ. Καφεντζής
Τρίτο Εργαστήριο

Σημείωση: Για βοήθεια σχετικά με τις εντολές/συναρτήσεις MATLAB γράψτε: "*doc εντολή/συνάρτηση*" στο Command Window του MATLAB.

1. **Ψηφιακά εφέ ήχου**

i. Θεωρήστε την παρακάτω εξίσωση διαφορών που περιγράφει ένα ΓΧΑ σύστημα

$$y[n] = x[n] + \alpha x[n-M], \;\; |a| < 1 \tag{1}$$

(α') Υπολογίστε στο χαρτί σας τη συνάρτηση μεταφοράς, $H(z)$, του παραπάνω συστήματος.
(β') Βρείτε στο χαρτί σας την κρουστική απόκριση $h[n]$.
(γ') Υπολογίστε στο χαρτί σας την απόκριση σε συχνότητα, $H(e^{j\omega})$.
(δ') Βρείτε στο MATLAB το μέτρο και τη φάση της, με χρήση της συνάρτησης `[H,W] = freqz(...)`, σε 2048 σημεία (δείτε το documentation της για να δείτε πως εισάγετε την πληροφορία των σημείων).

ii. Θεωρήστε την παρακάτω εξίσωση διαφορών που περιγράφει ένα ΓΧΑ σύστημα

$$y[n] = \alpha y[n-M] + x[n], \;\; |a| < 1 \tag{2}$$

(α') Υπολογίστε στο χαρτί σας τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος, $H(z)$.
(β') Υπολογίστε στο χαρτί σας την κρουστική απόκριση $h[n]$. *Βοήθεια:* Κάντε μακρά διαίρεση στη συνάρτηση μεταφοράς $H(z)$, και κάντε αντίστροφο μετασχ. Z στο πηλίκο, όπως κάναμε στο μάθημα.
(γ') Υπολογίστε στο χαρτί σας την απόκριση σε συχνότητα $H(e^{j\omega})$.
(δ') Βρείτε στο MATLAB το μέτρο και τη φάση της, με χρήση της συνάρτησης `[H,W] = freqz(...)`, σε 2048 σημεία.

iii. Φιλτράρετε το σήμα `furelise.wav` που σας δίνεται μέσα από τα παραπάνω συστήματα. Χρησιμοποιήστε την εντολή `filter` για αυτό. Οι παράμετροι των εξισώσεων διαφορών θα είναι $\alpha = 0.6$ και $M = 3000$. Ακούστε το αποτέλεσμα για κάθε σύστημα. Πώς θα χαρακτηρίζατε την επίδραση των συστημάτων στο σήμα εισόδου, βάσει του αποτελέσματος που ακούτε; Παραδώστε τον κώδικα που παράγει την έξοδο για κάθε σύστημα.

iv. Αποδείξτε στο χαρτί σας ότι τα συστήματα που υλοποιούνται από τις παραπάνω εξισώσεις διαφορών είναι το ένα *αντίστροφο* του άλλου. Ένα σύστημα $H_{inv}(z)$ ονομάζεται αντίστροφο ενός άλλου, $H(z)$, αν ισχύει

$$H(z)H_{inv}(z) = 1, \quad R_H \cap R_{H_{inv}} \neq \emptyset \tag{3}$$

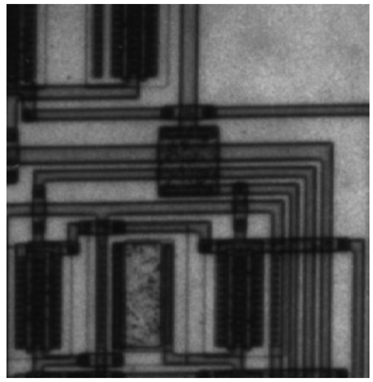
ή εναλλακτικά

$$h[n] * h_{inv}[n] = \delta[n] \tag{4}$$

v. Αποδείξτε πρακτικά το παραπάνω, περνώντας το σήμα της εξόδου του ενός συστήματος στην είσοδο του άλλου. Ακούστε το τελικό σήμα και το αρχικό σήμα. Είναι τα ίδια; Παραδώστε κώδικα που εκτελεί το διαδοχικό φιλτράρισμα.

2. **Απλή Επεξεργασία Εικόνας**

Η εικόνα circuit.tif που φαίνεται στο Σχήμα 1 είναι στην πράξη ένας πίνακας 280x272 με τιμές στο grayscale εύρος τιμών $(0 - 255)$.



Σχήμα 1: Εικόνα κυκλώματος Άσκησης 2.

Έστω τα συστήματα

$$y[n] - 0.95y[n-1] = x[n] \quad (5)$$
$$y[n] = x[n] - 0.95x[n-1] \quad (6)$$

όπου $x[n]$ θεωρούμε τις γραμμές ή τις στήλες της εικόνας. Αν η εικόνα διαβαστεί κατά γραμμές, τότε έχουμε 280 σήματα διακριτού χρόνου, ενώ αν διαβαστεί κατά στήλες, τότε έχουμε 272 τέτοια σήματα.

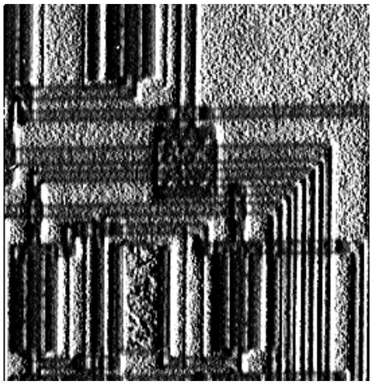
Στα Σχήματα 2, 3 βλέπουμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής των συστημάτων επάνω στην αρχική εικόνα όταν αυτά έχουν εφαρμοστεί κατά γραμμές (Line) ή κατά στήλες (Column).

(α΄) Line-filtering (β΄) Column filtering

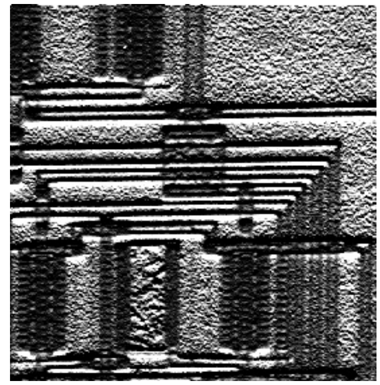
Σχήμα 2: Φιλτραρισμένα σήματα Άσκησης 2α.

i. Βρείτε στο χαρτί την κρουστική απόκριση $h_i[n]$ κάθε συστήματος μέσω του μετασχ. Z. $H_i(z)$.
ii. Σχολιάστε την ευστάθειά τους.
iii. Μπορείτε να χαρακτηρίσετε τα συστήματα ως προς τη λειτουργία τους, λαμβάνοντας υπ'οψη σας το διάγραμμα πόλων-μηδενικών τους; Εξηγήστε (μη σχεδιασετε-παραδώσετε το διάγραμμα).
iv. Προσπαθήστε να παράξετε τις εικόνες αυτές χρησιμοποιώντας την εντολή `filter` στο MATLAB. Χρησιμοποιήστε τον παρακάτω σκελετό κώδικα MATLAB για το σύστημα $h_1[n]$, με φιλτράρισμα ανά γραμμές:

```
% LINE FILTERING
A = imread('circuit.tif', 'tif'); % Read the image
```



(α΄) Column-filtering



(β΄) Line-filtering

Σχήμα 3: Φιλτραρισμένα σήματα Άσκησης 2β.

```
A = double(A);                      % Make it double precision for processing
[M,N] = size(A);                    % Get the size MxN
a = 0.95;                           % Filter coefficient
G = % INSERT CODE HERE              % Find G = sum(h[n])
Num = 1/G;                          % Filter numerator (input coefficient/G)
Den = [1 -a];                       % Filter denominator (output coefficients)
for i = 1:M
        Al = % INSERT CODE HERE     % Get line i from matrix A and store in Al
        Y = % INSERT CODE HERE      % Filtering Al using h1 or h2 (use filter)
        B(i, :) = Y;                % Plug to i-th line of matrix B
end
imshow(uint8(B));                   % Cast and show result
```

όπου στον παραπάνω κώδικα χρειάζεται να βρείτε το G, που ορίζεται ως

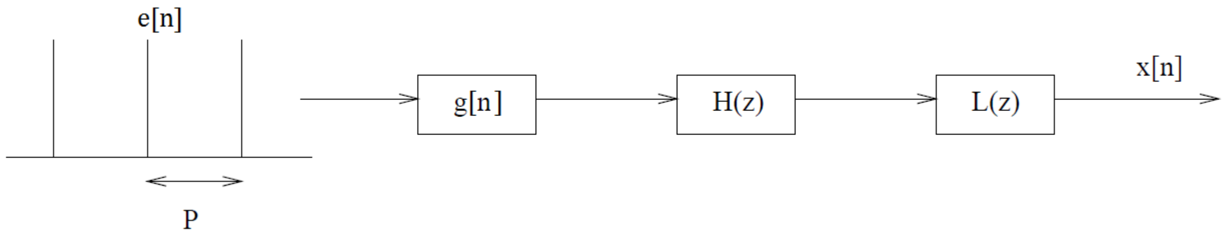
$$G = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h[n] \tag{7}$$

και το $a = 0.95$ είναι συντελεστής της εξίσωσης διαφορών. Ο συντελεστής G κανονικοποιεί το σύστημα. Αν έχετε υπολογίσει σωστά (στο χαρτί) την κρουστική απόκριση του συστήματός σας, τότε εύκολα μπορείτε να βρείτε το G. Γράψτε παρόμοιο κώδικα για το $h_1[n]$ φιλτράροντας σε στήλες αυτή τη φορά, καθώς και για το σύστημα $h_2[n]$ (φιλτράρισμα σε γραμμές και στήλες), όπου κι εκεί θα πρέπει να υπολογίσετε το αντίστοιχο G. Παραδώστε για κάθε περίπτωση κώδικα σε .m files, καθώς και δείγματα των αποτελεσμάτων σας (εικόνες) στην αναφορά σας.

3. **Σύνθεση φωνής από υπολογιστή**

Σε αυτήν την άσκηση θα προσπαθήσουμε να συνθέσουμε έμφωνους ήχους (/α/, /ε/, /ο/) με όσα γνωρίζουμε από το μετασχ. Z και όσα επιπλέον μάθουμε σε αυτό το εργαστήριο σχετικά με την παραγωγή φωνής. Ο τρόπος που θα ακολουθήσουμε είναι ιδιαίτερα απλός, γι' αυτό και όχι τόσο αποδοτικός. Παρ' όλα αυτά, οι πρώτες τεχνικές σύνθεσης φωνής βασίζονταν σε τέτοια μοντέλα. Για μια σύγκριση προσεγγίσεων σύνθεσης φωνής ανά τα χρόνια, μπορείτε να ακούσετε εδώ μερικά δείγματα (και στα ελληνικά!): http://speech.ilsp.gr/synthesis/samples.

Ένα απλό μοντέλο παραγωγής ανθρώπινης φωνής για έμφωνους ήχους φαίνεται στο Σχήμα 4. Θεωρητικά, οι έμφωνοι ήχοι μοντελοποιούνται ως περιοδικά σήματα για όσο διαρκούν. Ας θεωρήσουμε ότι η συχνότητα δειγματοληψίας με την οποία θα παράξουμε το σήμα μας είναι $f_s = 8000$ Hz. Γνωρίζουμε ότι η ανδρική φωνή έχει θεμελιώδη συχνότητα 100 Hz κατά μέσο όρο, ενώ η γυναικεία έχει θεμελιώδη συχνότητα 200 Hz κατά μέσο όρο. Αυτό σημαίνει ότι οι φωνητικές χορδές πάλλονται 100 φορές το δευτερόλεπτο στους άνδρες και 200 φορές το δευτερόλεπτο στις γυναίκες. Επίσης, σημαίνει ότι οι αποστάσεις μεταξύ των "παλμών" (που μοντελοποιούνται με



Σχήμα 4: Απλό μοντέλο παραγωγής ανθρώπινης φωνής για έμφωνους ήχους.

συναρτήσεις Δέλτα) του σήματος εισόδου στο Σχήμα 4 θα είναι $T_0 = 1/100$ s στους άνδρες και $T_0 = 1/200$ s στις γυναίκες.

Με τη δεδομένη συχνότητα δειγματοληψίας f_s, τα παραπάνω αντιστοιχούν σε περιόδους διάρκειας 80 και 40 δειγμάτων στο χρόνο, για ανδρική και γυναικεία φωνή αντίστοιχα, σε μια περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι μια βασική περίοδος ενός έμφωνου σήματος στο χρόνο επαναλαμβάνεται κάθε 80 ή 40 δείγματα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο μέγεθος των φωνητικών χορδών: οι άνδρες έχουν μεγαλύτερες φωνητικές χορδές από τις γυναίκες.

Σύμφωνα με το μοντέλο που φαίνεται στο Σχήμα 4, η φωνή παράγεται - θεωρητικά - όταν μια σειρά από συναρτήσεις Δέλτα, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση (περίοδο) P δείγματα,

$$e[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta[n - kP], \quad k \in Z \tag{8}$$

παρουσιαστεί ως είσοδος σε ένα σύστημα με κρουστική απόκριση $g[n]$ της μορφής

$$g[n] = \begin{cases} \frac{1}{2}\left(1 - \cos\left(\frac{\pi n}{N_1}\right)\right), & 0 \leq n \leq N_1 \\ \cos\left(\dfrac{\pi(n - N_1)}{2N_2}\right), & N_1 \leq n \leq N_1 + N_2 \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases} \tag{9}$$

Το σύστημα $g[n]$ αντιστοιχεί σε *μια* περίοδο του σήματος που παρουσιάζεται ακριβώς επάνω από τις φωνητικές σας χορδές. Το σύστημα $g[n]$ ονομάζεται *μοντέλο του Rosenberg*, και ήταν από τα πρώτα μοντέλα που προσπάθησαν να περιγράψουν μια περίοδο του σήματος που παράγεται ακριβώς επάνω από τις φωνητικές μας χορδές.

Γνωρίζουμε από τη θεωρία ότι η έξοδος του $g[n]$ με είσοδο το $e[n]$ θα είναι η συνέλιξη των δυο σημάτων, που καταλήγει να είναι η επανάληψη του $g[n]$ ανά kP δείγματα. Αυτό μας δημιουργεί πολλές περιόδους του $g[n]$, ώστε να μπορούμε να ακούσουμε το παραγόμενο φώνημα στο τέλος της διαδικασίας (μια μόνο περίοδος του $g[n]$ είναι πολύ μικρή σε διάρκεια για να μπορεί να ακουστεί).

Άσκηση: Αποδείξτε ότι η έξοδος $y[n]$ του παραπάνω συστήματος για είσοδο $e[n]$ είναι όπως περιγράφηκε παραπάνω, δηλ. ως

$$y_g[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} g[n - kP], \quad k \in Z \tag{10}$$

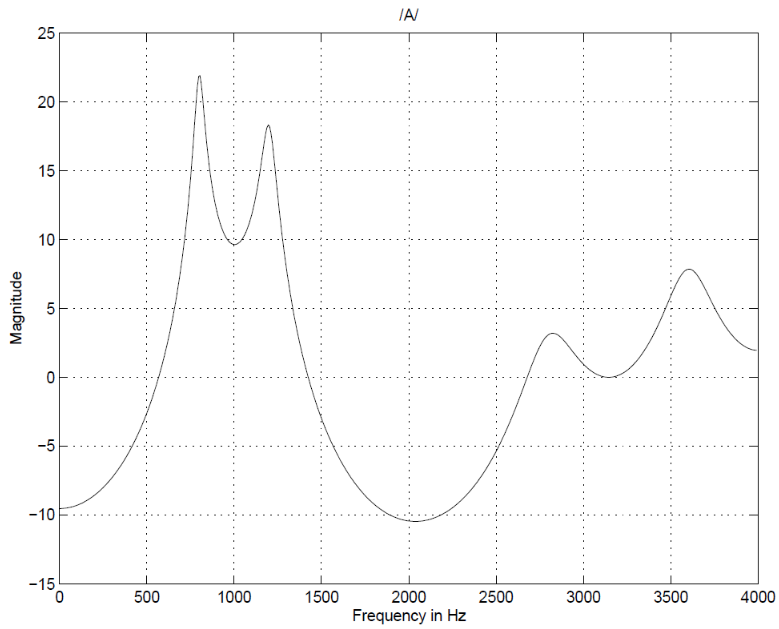
Αυτό τη σήμα πρέπει να περάσει από ένα δεύτερο σύστημα που μοντελοποιεί τη φωνητική οδό (φάρυγγας και στοματική κοιλότητα). Η φωνητική οδός συμβολίζεται με το σύστημα $H(z)$ στο Σχήμα 4 και διαμορφώνει κατάλληλα τον ήχο (ανάλογα με ποιό φώνημα θέλουμε να προφέρουμε). Θα προσπαθήσουμε να φτιάξουμε συστήματα που περιγράφουν τη φωνητική οδό, με τρόπο που θα δείτε παρακάτω.

Τέλος, η έξοδος από αυτό το σύστημα παρουσιάζεται ως είσοδος σε ένα τρίτο σύστημα, που μοντελοποιεί τα χείλη μας. Το τελευταίο αυτό σύστημα έχει συνάρτηση μεταφοράς

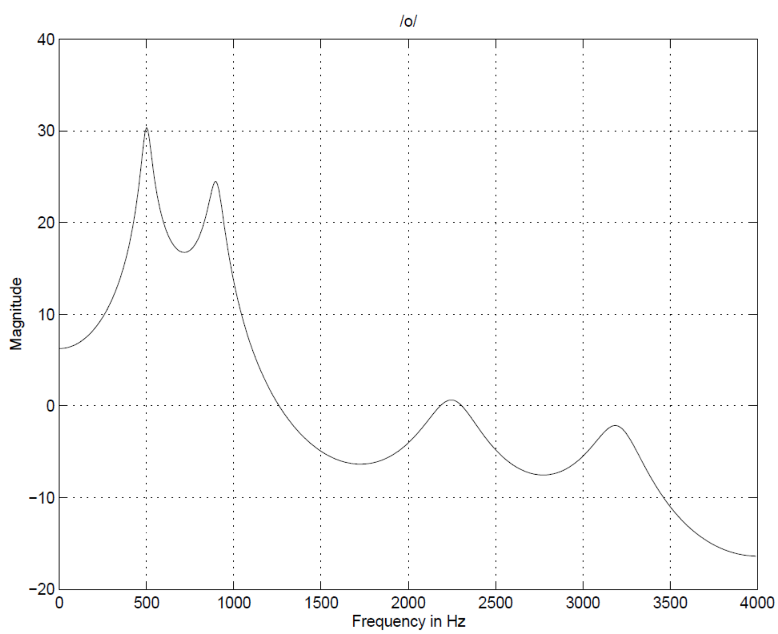
$$L(z) = 1 - 0.95z^{-1} \tag{11}$$

Η έξοδος από αυτό το συστημα είναι το τελικό σήμα φωνής.

Όπως καταλαβαίνετε από τα παραπάνω, αυτό που αλλάζει όταν προφέρουμε διαφορετικά φωνήματα (/α/, /ε/, /ο/) είναι κυρίως η φωνητική οδός, δηλαδή το σύστημα $H(z)$. Όλα τα υπόλοιπα παραμένουν ίδια. Για παράδειγμα, όταν θέλουμε να προφέρουμε το φώνημα /α/, το φάσμα πλάτους του συστήματος που περιγράφει την φωνητική οδό, δηλ. το $|H(e^{j\omega})|$, είναι κατά μέσο όρο όπως στο Σχήμα 5, σε λογαριθμική κλίμακα. Όμοια στα δυο πιο κάτω Σχήματα 6, 7, το φάσμα πλάτους των /ε/ και /ο/. Γνωρίζετε ότι αν τοποθετήσετε πόλους σε



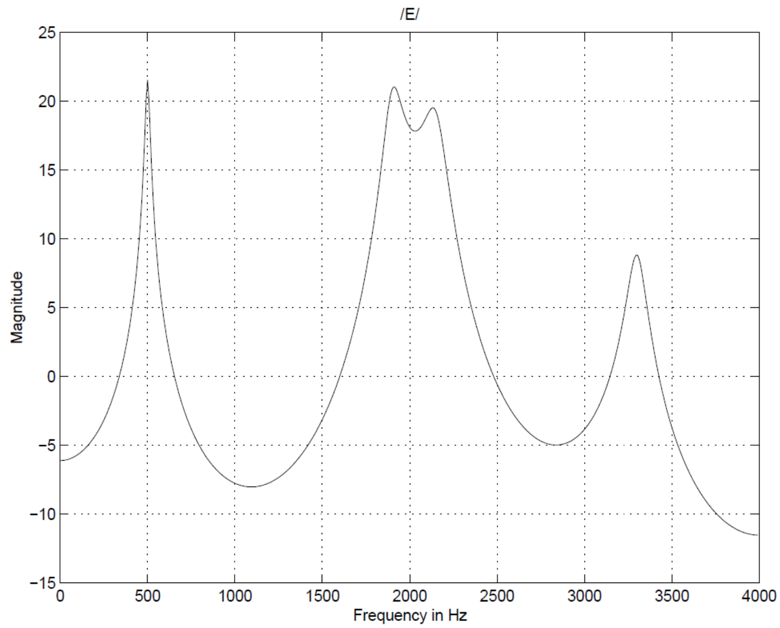
Σχήμα 5: Φάσμα πλάτους για φώνημα /α/.



Σχήμα 6: Φάσμα πλάτους για φώνημα /ο/.

κατάλληλα σημεία στο μιγαδικό επίπεδο, μπορείτε να δημιουργήσετε τοπικά μέγιστα στην απόκριση πλάτους ενός συστήματος.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πληροφορίες, προσπαθήστε να συνθέσετε τους ήχους /α/, /ε/, /ο/. Χρησιμοποιήστε ανδρική ή γυναικεία φωνή (ό,τι θέλετε), επιλέγοντας κατάλληλο f_0 για το σήμα $e[n]$ που θα φτιάξετε.



Σχήμα 7: Φάσμα πλάτους για φώνημα /ε/.

Στην προσπάθειά σας αυτή, σας δίνουμε μερικές έτοιμες συναρτήσεις που δε χρειάζεται να πειράξετε, παρά μόνο να καλέσετε. Οι συναρτήσεις αυτές είναι:

- genpulse.m: η συνάρτηση αυτή παράγει ως έξοδο το αρχικό σήμα εισόδου $e[n]$. Για παράδειγμα, αν θέλετε να παράξετε ένα σήμα $e[n]$ διάρκειας t δευτερολέπτων και θεμελιώδους συχνότητας f_0 Hz, τότε πρέπει να την καλέσετε ως:

  ```
  e = genpulse(f0, t);
  ```

- rosenmodel.m: η συνάρτηση αυτή δημιουργεί την κρουστική απόκριση $g[n]$, δηλ. το μοντέλο του Rosenberg, για το πρώτο σύστημα του Σχήματος 4. Για παράδειγμα, αν η θεμελιώδης συχνότητα που θέλετε να συνθέσετε είναι 100 Hz, δηλ. 80 δείγματα ανά περίοδο, και θέλετε το N_1 να είναι 60 δείγματα, και το N_2 να είναι 10 δείγματα, τότε θα την καλέσετε ως

  ```
  g = rosenmodel(60,10,100);
  ```

  Πρέπει το $N_1 + N_2$ να είναι λιγότερο από f_s/f_0, αλλιώς η συνάρτηση σας επιστρέφει σφάλμα, και πρέπει να ξαναορίσετε τις τιμές ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη.

Για όλη αυτή την άσκηση, ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

(αʹ) Ανοίξτε το αρχειο Lab3HY370.m, όπου εκεί θα γράφετε τις εντολές σας, και θα το τρέχετε πατώντας F5 ή το κουμπί Run ψηλά στον editor.

(βʹ) Αποθηκεύστε τη συχνότητα δειγματοληψίας σε μια μεταβλητή `fs`.

(γʹ) Επιλέξτε μια θεμελιώδη συχνότητα f_0 για το σήμα $e[n]$. Αποθηκεύστε την επιλογή σας στη μεταβλητή `f0`. Ουσιαστικά, με αυτό διαλέγετε αν θα παράξετε ανδρική ή γυναικεία φωνή.

(δʹ) Καλέστε τη συνάρτηση `genpulse` με κατάλληλα ορίσματα, για να φτιάξετε το σήμα $e[n]$, και αποθηκεύστε την έξοδό της στο διάνυσμα `e`. Φροντίστε να επιλέξετε λίγα δευτερόλεπτα ώστε να μπορείτε να ακούσετε στο τέλος το σήμα που θα συνθέσετε (π.χ. επιλέξτε $t = 2$ ως όρισμα της `genpulse`).

(εʹ) Καλέστε τη συνάρτηση `rosenmodel` για να συνθέσετε μια περίοδο του σήματος $g[n]$, με τιμές N_1, N_2 της επιλογής σας. Αποθηκεύστε την έξοδό της στο διάνυσμα `g`. Κάντε το `plot` για να δείτε πως μοιάζει. Αυτό που θα δείτε είναι μια περίοδος του σήματος που παράγεται επάνω από τις φωνητικές σας χορδές όταν παράγετε έμφωνους ήχους!

(ϛ΄) Το Σχήμα 4 δείχνει ότι το σήμα $e[n]$ μπαίνει ως είσοδος στο σύστημα με κρουστική απόκριση $g[n]$. Γνωρίζετε ότι η έξοδος ενός τέτοιου συστήματος δίνεται ως η συνέλιξη της εισόδου με την κρουστική απόκριση. Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `conv` για να βρείτε την έξοδο, και αποθηκεύστε τη στο διάνυσμα `gp`.

(ζ΄) Κάντε `plot` το αποτέλεσμα `gp`. Όταν προφέρετε σταθερά ένα φωνήεν, τοτε αυτό το σήμα παράγεται ακριβώς επάνω από τις φωνητικές σας χορδές!

(η΄) Για να παράξετε το φίλτρο $H(z)$ για ένα συγκεκριμένο φώνημα, πρέπει να συμβουλευτείτε το αντίστοιχο φάσμα πλάτους. Για παράδειγμα, το /α/ φαίνεται να έχει υψηλές τιμές στις συχνότητες $F_i = 700, 1200, 2800$ και 3600 Hz. Αυτές τις υψηλές τιμές φάσματος πλάτους θα τις δημιουργήσετε με χρήση πόλων οι οποίοι θα βρίσκονται στις κατάλληλες θέσεις στο z-επίπεδο, δηλ. το σύστημα $H(z)$ θα είναι της μορφής

$$H(z) = \frac{1}{\prod_{k=1}^{M}(1 - z_k z^{-1})(1 - z_k^* z^{-1})} \tag{12}$$

με M ο αριθμός των πόλων στο διάστημα $[0, \pi]$ (δηλ. το πλήθος των κορυφών στο φάσμα πλάτους των σχημάτων που σας δίνονται). Προφανώς εσείς θα εκτιμήσετε το $H(z)$ επάνω στο μοναδιαίο κύκλο, δηλ. το μετασχ. Fourier του, τοποθετώντας κατάλληλα τους πόλους στο μιγαδικό επίπεδο ώστε να "κατασκευάσετε" το φάσμα πλάτους που σας δίνεται για κάθε φώνημα.

Ακολουθήστε το παρακάτω παράδειγμα για το φώνημα /α/, για να καταλάβετε περισσότερα:

- <u>Βήμα 1:</u>
  - Η πρώτη συχνότητα που το /α/ παρουσιάζει υψηλή τιμή στο φάσμα πλάτους είναι η $F_1 = 700$ Hz. Η συχνότητα αυτή αντιστοιχεί σε $\Omega_1 = 2\pi F_1/f_s$ rad στο διάστημα $[0, \pi]$. Αποθηκεύστε τη στη μεταβλητή `Omega_1`.
  - Η υψηλή τιμή του φάσματος πλάτους του /α/ σε αυτή τη συχνότητα Ω_1 σημαίνει ότι στη γωνία $\omega = \Omega_1$ του z-επιπέδου, υπάρχει ένας πόλος z_1. Ο πόλος αυτός θα είναι της μορφής

    ```
    z1 = a_1*exp(1i*Omega_1);
    ```

    με `a_1` το μέτρο του πόλου (δηλ. η απόσταση από το κέντρο των αξόνων). Βάλτε μια τιμή του `a_1` κοντά στο 0.95. Όμως, επειδή το $H(z)$ ανταποκρίνεται σε πραγματική συνάρτηση $h[n]$, θα πρέπει να έχει για κάθε πόλο z στο $[0, \pi)$, και έναν συζυγή του, z^*, στο $[\pi, 2\pi)$. Ο συζυγής ενός μιγαδικού βρίσκεται εύκολα με τη συνάρτηση `conj`. Για τον παραπάνω πόλο, θα είναι

    ```
    z1c = conj(z1);
    ```
  - Αυτοί οι δυο πόλοι λοιπόν συνεισφέρουν στο $H(z)$ έναν όρο της μορφής

    $$\frac{1}{(1 - z_1 z^{-1})(1 - z_1^* z^{-1})} \tag{13}$$

    Ο πολλαπλασιασμός των δυο αυτών πολυωνύμων πρώτης τάξης του παρονομαστή επιτυγχάνεται με τη συνάρτηση `conv` ως

    ```
    oros1 = conv([1 -z1], [1 -z1c]);
    ```

    Το διάνυσμα `oros1` περιέχει τους συντελεστές του πολυωνύμου που προκύπτει από το γινόμενο του παρονομαστή της Σχέσης (13).
- <u>Βήμα 2:</u>
  - Δημιουργήστε γινόμενα πολυωνύμων όπως παραπάνω για κάθε συχνότητα F_i που βλέπετε να έχει υψηλή τιμή στο φάσμα πλάτους του /α/. Αποθηκεύστε τους συντελεστές τους στα διανύσματα

    ```
    oros1, oros2, oros3, oros4
    ```

    όπως ακριβώς κάναμε παραπάνω. Εύκολα μπορείτε να βρείτε τις γωνίες Ω_i των πόλων. Όμως για τα μέτρα τους, `a_i`, επιλέξτε αρχικά τυχαίες τιμές μεταξύ 0.85 και 0.95.
  - Όταν κάνετε τα παραπάνω για όλες τις συχνότητες, πολλαπλασιάστε όλους τους όρους αυτούς μεταξύ τους με τη συνάρτηση conv ως

    ```
    oroi12 = conv(oros1, oros2);
    oroi34 = conv(oros3, oros4);
    den = conv(oroi12, oroi34);
    num = 1;
    ```

για να δημιουργήσετε το τελικό πολυώνυμο του παρονομαστή του $H(z)$ στη μεταβλητή-διάνυσμα `den`.

  - Ελέγξτε το φάσμα πλάτους που φτιάξατε σε λογαριθμική κλίμακα ώσε να μπορείτε να το συγκρίνετε με τα σχήματα που σας δίνονται, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω γραμμές

```
[H,W] = freqz(num, den, 1024, fs);
plot(W, 20*log10(abs(H))); grid;
```

  - Η πρώτη σας απόπειρα μάλλον δε θα μοιάζει τόσο με το φάσμα πλάτους που βλέπετε στο Σχήμα 5. Πειραματιστείτε με τις τιμές του μέτρου a_i του κάθε πόλου για να επιτύχετε τιμές φάσματος πλάτους στις συχνότητες F_i όπως στο Σχήμα 5. Ελέγξτε κάθε φορά το αποτέλεσμά σας όπως παραπάνω.

- Βήμα 3:
  - Όταν έχετε μια καλή προσέγγιση του φάσματος πλάτους που σας δίνεται, βρείτε την έξοδο του συστήματος $H(z)$ για είσοδο το σήμα `gp` που έχετε φτιάξει αρχικά. Η συνάρτηση `conv` δε μας είναι βολική γιατί το $H(z)$ είναι στο χώρο του Z ενώ το `gp` είναι στο χώρο του χρόνου. Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση `filter`, ως

```
y = filter(num, den, gp);
```

(θ΄) Για να παράξετε το τελικό συνθετικό σήμα φωνής, περάστε την έξοδο `y` που μόλις βρήκατε ως είσοδο στο σύστημα $L(z)$. Μπορείτε να βρείτε εύκολα το $l[n]$ στο χαρτί σας, οπότε μπορείτε να χρησιμοποιήσετε είτε τη συνάρτηση `conv`, είτε τη συνάρτηση `filter`, δημιουργώντας την εξίσωση διαφορών που αντιστοιχεί στο $L(z)$. Αποθηκεύστε το αποτέλεσμά σας στο διάνυσμα `speech`.

(ι΄) Κανονικοποιήστε το αποτέλεσμά σας ως `speech = speech/max(abs(speech));`

(ια΄) Ακούστε το με την εντολή `soundsc(speech, fs);`

(ιβ΄) Αν τα κάνατε όλα σωστά, το αποτέλεσμά σας θα ακούγεται κάπως "ρομποτικό". Προσπαθήστε να αυξήσετε τη φυσικότητα εισάγοντας λίγη ποσότητα τυχαίου θορύβου μικρής ισχύος στο διάνυσμα `gp`, πριν αυτό περάσει από το φίλτρο $H(z)$, με τις εντολές

```
P = 0.005;
gp = gp + P*randn(1,length(gp));
```

Ακούστε ξανά το σήμα. Βρείτε μια τιμή για το `P` που να δίνει μια καλή φυσικότητα στο σήμα σας, χωρίς να το κάνει πολύ θορυβώδες.

Σε ένα νέο .m αρχείο, δημιουργήστε ένα σήμα φωνής /ο/ κι ένα αντίστοιχο /ε/, και φτιάξτε το σήμα /οε-οε-οε/ ως

```
oe = [speech_o speech_e];
final = [oe oe oe];
soundsc(final, fs);
```

Παραδοτέα: Παραδώστε το .m αρχείο που παράγει το συνθετικό /α/, καθώς και το .m αρχείο που παράγει το συνθετικό /οε-οε-οε/. Επίσης, παραδώστε και την απόδειξη του ερωτήματος που αναφέρεται ως **Άσκηση**.

Για την παράδοση του εργαστηρίου, γράψτε **πλήρη** αναφορά, συμπεριλαμβάνοντας απαντήσεις σε όλα τα θεωρητικά ερωτήματα του εργαστηρίου, καθώς και διαγράμματα/γραφήματα/εικόνες με τα αποτελέσματά σας, και συμπεριλάβετε τον όποιο κώδικα MATLAB σε *ξεχωριστά* .m files.

Η παράδοση γίνεται **αποκλειστικά** με το πρόγραμμα TURNIN.

Ανάθεση: 3/11/2016

Προθεσμία: 13/11/2016, 23:59:59 (TURNIN timestamp)