

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧ/ΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

‘ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ’

Ακαδ. Έτος **2019 - 2020**

ΕΡΓΑΣΙΑ MATLAB

Παρατηρήσεις:

1. Στόχος της εργασίας είναι η εμπέδωση σημαντικών εννοιών του μαθήματος αλλά και γενικότερα η εξοικείωση με τις εφαρμογές του περιβάλλοντος MATLAB στην ‘Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων’.
2. Η εργασία μετράει κατά 10/100 της συνολικής βαθμολογίας τους μαθήματος και μπορεί να παραδοθεί από ομάδες μέχρι 2 ατόμων.
3. Καταληκτική ημερομηνία παράδοσης: Ημέρα/ώρα του τελικού διαγωνίσματος.
4. Καμία παράταση δεν θα δοθεί.
5. Οι εργασίες ίσως να εξεταστούν και προφορικά κατά την πρώτη βδομάδα μαθημάτων του εαρινού εξαμήνου. Εάν αυτό κριθεί απαραίτητο, λεπτομέρειες θα ανακοινωθούν έγκαιρα.
6. Η βαθμολογία μιας εργασίας θα εξαρτηθεί από την ορθότητα των αποτελεσμάτων και τον τρόπο παρουσίασης. Θα αξιολογηθούν ακόμα και ημιτελείς προσπάθειες αρκεί να έχουν παραδοθεί εμπρόθεσμα οι σχετικές αναφορές.
7. Σημειώνεται ότι στις εργασίες σας, σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να τεκμηριώσετε την άποψή σας με σειρά σχετικών διαγραμμάτων.
8. Ο κώδικας που έχει χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να εκτυπωθεί και να αποτελέσει μέρος της αναφοράς (με σχόλια).
9. Η αναφορά πρέπει να παραδοθεί σε εκτυπωμένη μορφή.
10. Ηλεκτρονικός τρόπος παράδοσης (με email) δεν είναι δεκτός.

ΜΕΡΟΣ Α: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Επιθυμούμε να σχεδιάσουμε ένα κατωπερατό φίλτρο διακριτού χρόνου με τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Ζώνη διάβασης (passband) ορισμένη από το $\omega_p = 0.10\pi$.
- Ζώνη αποκοπής (stopband) ορισμένη από το $\omega_s = 0.30\pi$.
- Μέγιστο κυματισμό στη ζώνη διάβασης ορισμένη από την:

$$R_p = -20 \log_{10} \frac{1 - \delta_1}{1 + \delta_1} = 1.00 \text{ dB}$$

- Μέγιστο κυματισμό στη ζώνη αποκοπής ορισμένη από την:

$$A_s = -20 \log_{10} \frac{\delta_2}{1 + \delta_1} = 40.00 \text{ dB}$$

Κάντε τα ακόλουθα:

- A1. Σχεδιάστε το ζητούμενο φίλτρο ως FIR κάνοντας χρήση παραθύρου Hamming.
- A2. Και ως IIR φίλτρο Butterworth με βάση το διγραμμικό μετασχηματισμό (bilinear transform).

Σε κάθε περίπτωση, σχεδιάστε τις:

- Κρουστικές αποκρίσεις των φίλτρων.
- Βηματικές αποκρίσεις των φίλτρων.
- Μέτρο απόκρισης συχνότητας σε λογαριθμική κλίμακα (σε dB).
- Καθυστερήση ομάδας.
- Διάγραμμα μηδενικών και πόλων (για το IIR φίλτρο μόνο).

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Χρήσιμες εντολές MATLAB είναι οι ακόλουθες (μεταξύ άλλων): **fir1**, **sinc**, **hamming**, **buttord**, **butter**, **freqz**, **impz**, **stepz**, **grpdelay**, **zplane**, **fvtool**, **roots**, **plot**, **stem**, **figure**, **print**.

ΜΕΡΟΣ Β: ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ DFT

B1. Θεωρήστε το σήμα $x[n]$ που ορίζεται ως το άθροισμα δύο συνημιτόνων

$$x[n] = A_1 \cdot \cos(\omega_1 \cdot n) + A_2 \cdot \cos(\omega_2 \cdot n)$$

με $n \geq 0$, όπου $A_1 = 1$ και $A_2 = 0.50$, και τα ω_1, ω_2 δίνονται από τις:

$$\omega_1 = \pi \bmod \left(\left\lceil \frac{10 \max(l_1, l_2)}{7.5 l_1 + l_2} \right\rceil, 1 \right)$$

$$\omega_2 = \bmod \left(\omega_1 + \frac{\pi}{4}, \pi \right)$$

όπου τα l_1 και l_2 είναι τα μήκη σε χαρακτήρες του λατινικού ονόματος και του επιθέτου ενός από τα μέλη της ομάδας σας. Δώστε τα ω_1 και ω_2 που προκύπτουν.

- B.1.1. Στη συνέχεια, το σήμα παραθυρώνεται με ορθογώνιο παράθυρο $w[n]$ μήκους L δειγμάτων. Σχεδιάστε το μέτρο του DFT (μήκους $N \geq L$) του παραθυρομένου σήματος, για ζώνη συχνοτήτων (τιμές οριζόντιου άξονα) μεταξύ των $[0, \pi]$, για τρεις τιμές του $L = 16, 64, 512$, και για κάθε μία από αυτές για $N = L$ και $N = 2^{14}$. Σχολιάστε τις διαφορές μεταξύ των διαγραμμάτων. Στη συνέχεια, για $L = 64$, μεταβάλλετε τις δύο συχνότητες ω_1, ω_2 (μετακινώντας αυτές προς τη μέση τιμή τους, δηλ. προς το $(\omega_1 + \omega_2)/2$), σχεδιάζοντας τους αντίστοιχους DFT, και σχολιάστε τότε η ύπαρξη των δύο διακριτών συχνοτήτων παύει να διακρίνεται.
- B.1.2. Επαναλάβετε το παραπάνω πείραμα στην περίπτωση ενός παραθύρου Hamming μήκους $L = 64$, σχολιάζοντας τις διαφορές που παρατηρείτε με τα αντίστοιχα διαγράμματα του μέρους B.1.1.

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Χρήσιμες εντολές MATLAB είναι οι ακόλουθες (μεταξύ άλλων): **fft**, **fftshift**, **hamming**, **rectwin**, **plot**, **figure**, **print**, **mod**.

B2. Ηχογραφήστε το μικρό όνομα ενός από τα άτομα της ομάδας σας με συχνότητα δειγματοληψίας περί τα 16–22 kHz.

- B2.1. Σχεδιάστε το φασματόγραμμα του σήματος φωνής που ηχογραφήσατε, χρησιμοποιώντας παράθυρο Hamming μήκους περί τα 10 msec και παράθυρο Hamming μήκους περί τα 100 msec, με μετατόπιση (και στις 2 περιπτώσεις) περί τα 5 msec. Σχολιάστε τις διαφορές στα δύο φασματογράμματα.
- B2.2. Φιλτράρετε το σήμα φωνής με ένα από τα κατωπερατά φίλτρα του μέρους Α της εργασίας. Σχεδιάστε κάποιο από τα δύο φασματογράμματα του προηγούμενου ερωτήματος για το σήμα εξόδου. Σχολιάστε το πώς «ακούγεται» το σήμα φωνής της εξόδου του φίλτρου.

ΥΠΟΔΕΙΞΗ: Χρήσιμες εντολές MATLAB είναι οι ακόλουθες (μεταξύ άλλων): **spectrogram**, **filter**, **audiorecorder**, **recordblocking**, **record**, **stop**, **getaudiodata**, **wavread**, **play**, **wavwrite**, **audioplayer**, **figure**, **print**.

ΜΕΡΟΣ Γ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΦΩΝΗΣ

Στην ενότητα αυτή θα δημιουργήσετε την κυματομορφή ενός συνθετικού φωνήεντος. Πιο συγκεκριμένα, θα θεωρήσετε ότι το σήμα του φωνήεντος δίνεται από τον τύπο:

$$s[n] = A p[n] * g[n] * v[n] * r[n] ,$$

όπου:

- Το A είναι ένα σταθερό κέρδος, π.χ., $A = 5000$.
- Το σήμα:

$$p[n] = \sum_{k=0}^{+\infty} 0.9999^k \delta[n - 80k] ,$$

που στο πεδίο του μετασχηματισμού αντιστοιχεί σε

$$P(z) = \frac{1}{1 - 0.9999 z^{-80}} .$$

- Το σήμα:

$$g[n] = \begin{cases} 0.5 \left(1 - \cos \left(\pi (n+1)/25 \right) \right) , & \text{για } 0 \leq n \leq 24 \\ \cos \left(0.5 \pi (n-24)/10 \right) , & \text{για } 25 \leq n \leq 33 \\ 0 , & \text{αλλού} . \end{cases}$$

- Το σήμα $v[n]$ έχει μετασχηματισμό

$$V(z) = \frac{1}{\prod_{k=1}^K \left(1 - 2 e^{-2\pi\sigma_k T} \cos(2\pi F_k T) z^{-1} + e^{-4\pi\sigma_k T} z^{-2} \right)} ,$$

με $K = 3$, $T = 1/10000$ sec, $F_1 = 270$ Hz, $F_2 = 2290$ Hz, $F_3 = 3010$ Hz, $2\sigma_1 = 60$ Hz, $2\sigma_2 = 100$ Hz, και $2\sigma_3 = 120$ Hz.

- Τέλος, $r[n] = \delta[n] - 0.96 \delta[n-1]$.

Να:

- Γ1. Σχεδιάσετε το $p[n]$ (σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα), το φάσμα $P(e^{j\omega})$ (χρησιμοποιώντας DFT επαρκούς μήκους), όπως και το διάγραμμα πόλων-μηδενικών της $P(z)$.
- Γ2. Σχεδιάσετε το $g[n]$, το φάσμα του $G(e^{j\omega})$ (όπως παραπάνω), και το διάγραμμα πόλων-μηδενικών της $G(z)$.
- Γ3. Σχεδιάσετε το $r[n]$ (πεδίο χρόνου), φάσμα $R(e^{j\omega})$ (όπως παραπάνω), και το διάγραμμα πόλων-μηδενικών της $R(z)$.
- Γ4. Σχεδιάσετε το $s[n]$ (για πεπερασμένο αριθμό δειγμάτων, π.χ. 1000), φάσμα $S(e^{j\omega})$ (όπως παραπάνω), και το διάγραμμα πόλων-μηδενικών της $S(z)$.
- Γ5. Θεωρήσετε το σήμα $s[n]$ σε μήκος 20000 δειγμάτων και ακούστε το. Θεωρείστε την συχνότητα δειγματοληψίας ως 10000 Hz. Σαν ποιο φωνήεν ακούγεται;