

מבוא לעיבוד ספרתי של אותות 200109

שנה"ל: תש"פ סמסטר: ב'

עבודת בית

שם המרצה: ד"ר בני סלומון

הוראות לנבחן (כל הרשום להלן בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד, אך מתייחס לנשים וגברים כאחד):

1. העבודה תבצע בזוגות. ניתן לבקש אישור (בדוא"ל) מהמרצה לביצוע העבודה לבד.
2. עבודה תוגש לאחר שנעשתה באופן עצמאי (ע"י יחיד או זוג). סטודנט אינו רשאי לעיין בפתרון, מלא או חלקי, של עבודת בית של יחיד/זוג אחר (ובכלל זה פתרון השמור במדיה דיגיטלית כלשהי, לרבות רשתות חברתיות והודעות דוא"ל) או להיעזר בפתרון כאמור בכל צורה שהיא.
3. אסור לזוגות/יחידים שונים לנסח במשותף מסמך.
4. יש להגיש קובץ Zip/Rar המכיל דו"ח (קובץ PDF, תוכן לפי ההנחיות שבעבודה), קבצי שמע וקבצי Matlab (בפורמט m file, וודא שניתן להריץ את הקבצים ותעד היטב את הקוד). קובץ ה PDF יכיל קישור לסרטון (MP4) לפי ההנחיות שבעבודה).
5. למרצה יש רשות לזמן סטודנט לפגישה (מפגש Zoom) לפני מתן ציון לעבודה.

בהצלחה !!

אנא אשר/י: הנני מתחייב/ת לעבודה עצמאית

____ דן איטון אלאור כהן _____
ח ת י מ ה

____ דן איטון : 204344329 אלאור כהן : 203565387 _____
ת " ז ל ש מ א י ש ו ר

הקובץ SunshineSquare מכיל אות דיבור עם מספר אותות סינוסואידלים לא רצויים שהתווספו לו (החל מזמן מסוים).

השתמש בפונקציה `audioread` של Matlab לקריאת קובץ wav (היא מחזירה גם את קצב הדגימה).

כדי לסלק אות סינוסואידלי (יחיד) ניתן להשתמש במסנן FIR עם תגובת הולם

$$h[n] = \{1, A, 1\}$$

א. מצא את התדרים של האותות הסינוסואידלים ב Hz ובתדרים בזמן בדיד θ).

לאחר שימוש בפונקציית FFT אלגוריתם של מטלב המחשב את התמרת ה DFT בצורה מהירה, והסתכלות על הדפסת האמפליטודה כתלות בתדר מצאנו את התדירויות שבהן יש שיאים (פולסים) ולפיכך ידענו איזה תדירויות עלינו לסנן.

לאחר בחירת התדירויות ושימוש בקשר $\theta_k = WT = f * 2 * \pi / Fs$ מצאנו את הטטות הרצויות.

in Hz:

$$f_1=0, f_2=1.575\text{Khz}, f_3=3.15\text{Khz}, f_4=4.725\text{Khz}$$

Theta :

$$\theta_1=0, \theta_2 = \frac{2\pi}{7}, \theta_3 = \frac{4\pi}{7}, \theta_4 = \frac{6\pi}{7},$$

ב. מצא את הערכים של A שנדרשים לסילוק כל אחד מהתדרים (האותות הסינוסואידלים) הלא רצויים.

את ערכי A מצנו על ידי השוואת גודל תגובת התדר לאפס בכל אחד מהטטות שמצאנו :
בצורה הבאה:

$$|Hf(\theta = \theta_k)| = 1 + A * e^{-j\theta_k} + e^{-2j\theta_k}$$

$$|Hf(\theta = \theta_k)| = 0 \text{ כאשר}$$

ערכי A שהתקבלו הם: $A_1 = -2, A_2 = -1.246979, A_3 = 0.4450, A_4 = 1.8019$

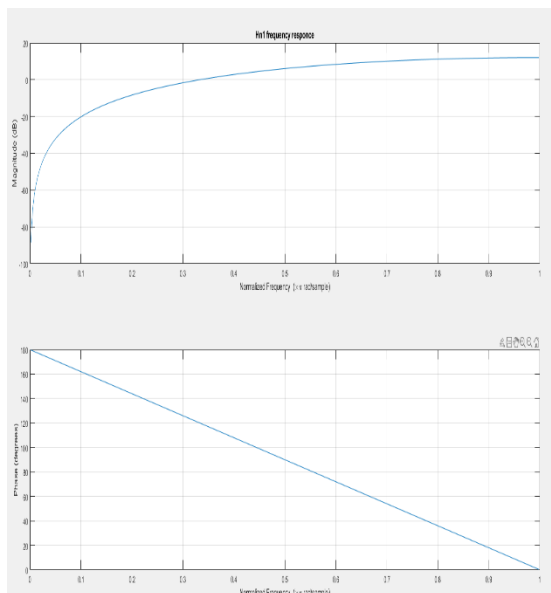
ג. הכן טבלה של התדרים של האותות הסינוסואידלים ב Hz ובזמן בדיד ואת הערך של A עבור כל אות.

<u>A-coefficient</u> of $H^f(\theta) =$ $2\pi f T_s$	<u>F=frequency</u> in hz	θ
-2	0	$\theta_1=0$
-1.246979654	1575	$\theta_2 = \frac{2\pi}{7}$
0.445041864	3150	$\theta_3 = \frac{4\pi}{7}$
1.801937747	4725	$\theta_4 = \frac{6\pi}{7}$

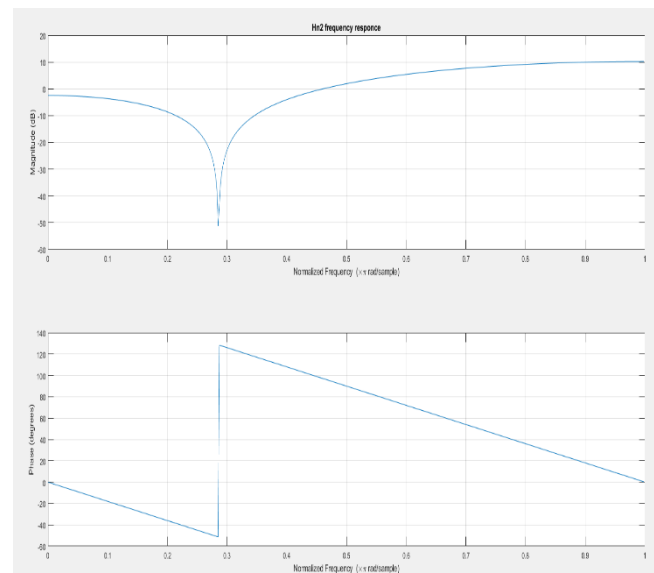
ד. הכן איור (ב Matlab) של תגובת התדר של כל מסנן וצורף לדו"ח:

רוחב הסרט עבור על מסנן חושב ידנית על ידי הסתכלות על התגובה התדר במטלב וחיסור בין התדרים המתאימים.
ירידה של -3db.

H1 : Bandwidth: 1527hz

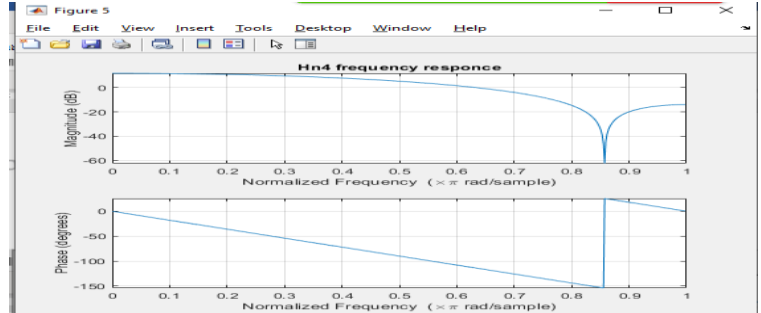
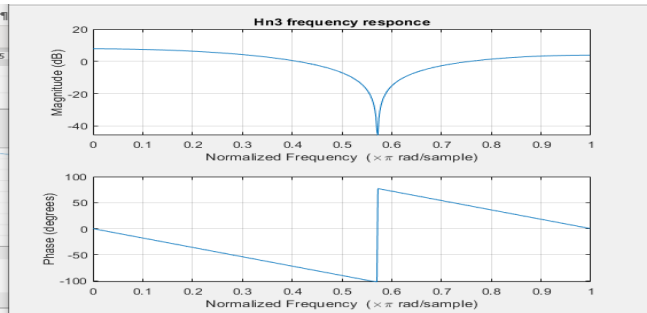


H2: Bandwidth: 2885.2425hz

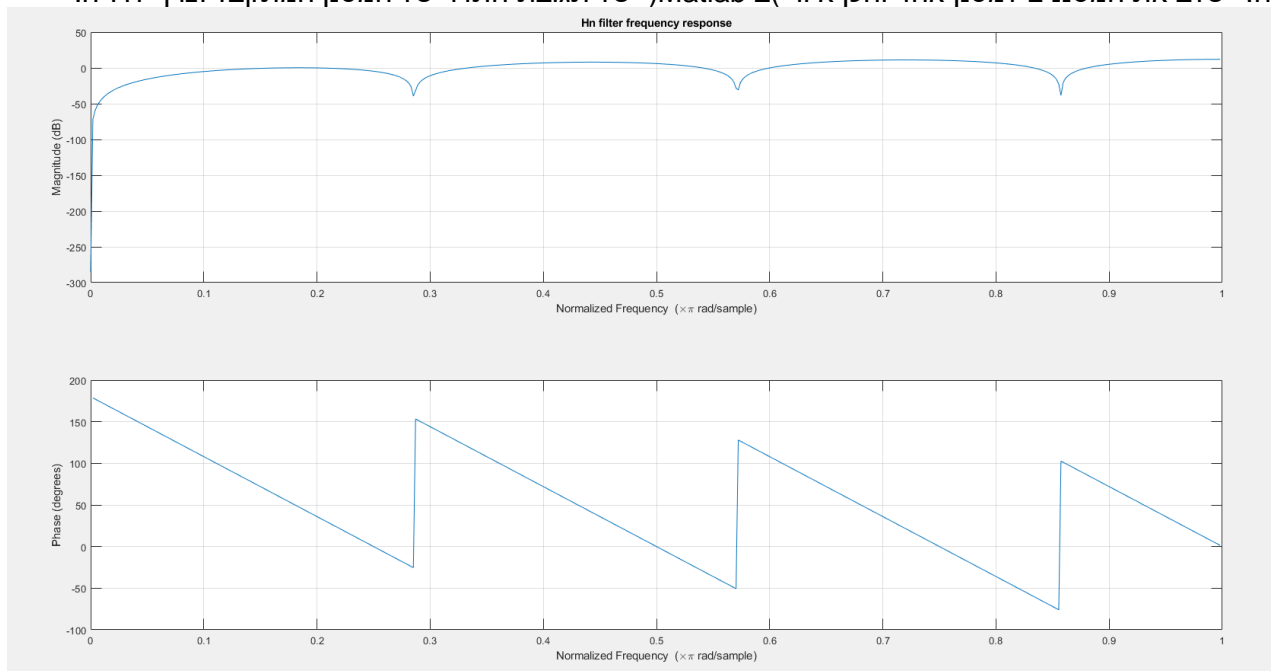


H3: Bandwidth: 2745.77hz

H4: Bandwidth: 3154.25hz



ה. שלב את המסננים למסנן אחד והכן איור (ב Matlab) של תגובת התדר של המסנן המתקבל וצורף לדו"ח.



ו. למד כיצד להשתמש בפונקציית spectrogram וצורף לדו"ח איורים מתאימים) באמצעות פונקציית spectrogram של אות הדיבור לפני ואחרי הסינון.

Spectrogram function:

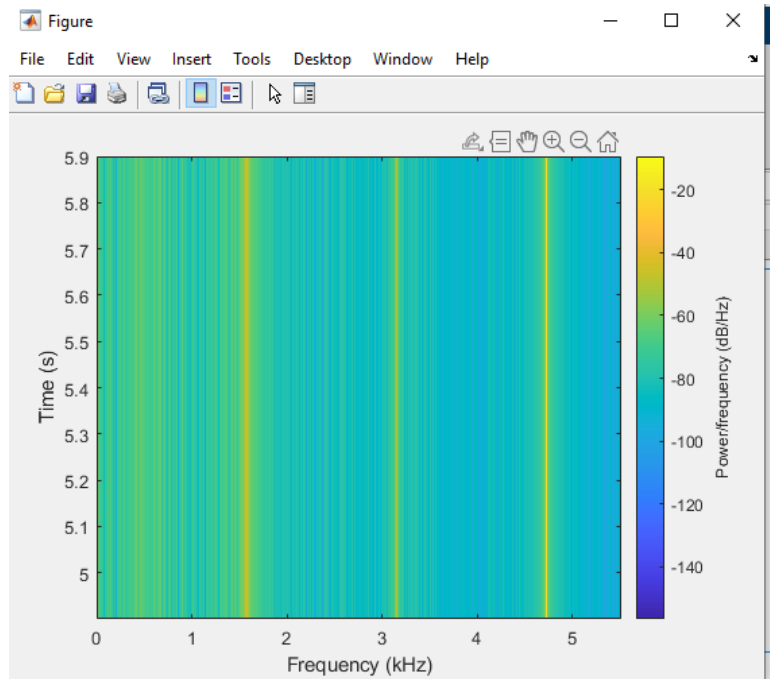
משתמש בהתמרת פוריה קצרה:

- נותן הצגה של התדר בתלות בזמן של אות(ניתן גם להפוך את הצירים).

- מדפיס את התדירות כפונקציה של הזמן והעוצמה בכל נקודה .
- מוצגת בעזרת צבעים בצד ימין(צהוב=עוצמה חזקה, כחול כהה=חלשה מאד)
- מאד שימושי לנו כאשר נרצה להבין באיזה זמן תדירות מסוימת קרתה.
- $s = \text{spectrogram}(x, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, \text{fs})$ uses nfft sampling points to calculate the discrete Fourier transform.
- x האות שאותה אני רוצה לנתח spectrogram.
- Window-אורך החלון שבו נשתמש לניתוח:
- חלון דיפולטיבי – הוא hamming.
- ככל שאורך החלון גדול יותר כך נראה טוב יותר את הרזולוציה בתדר , אורך חלון קטן ייתן לנו רזולוציה טובה יותר בזמן (יכול לתרום למציאת מרווחים בין אות לאות כדי להבדיל ביניהם).
- Noerlap – הוא מספר חיובי המייצג את מספר הדגימות של כל סגמנט אשר חופפים:
- על פרמטר להיות קטן מאורך החלון או מאורך וקטור חלון(אם בפרמטר window בחרנו בווקטור).
- NFFT- אורך החלון המתאים עבור אלגוריתם FFT .
- Fs – תדר הדגימה של האות הנבחר.

1. שרטוט ספקטוגרם של האות לפני סינון:

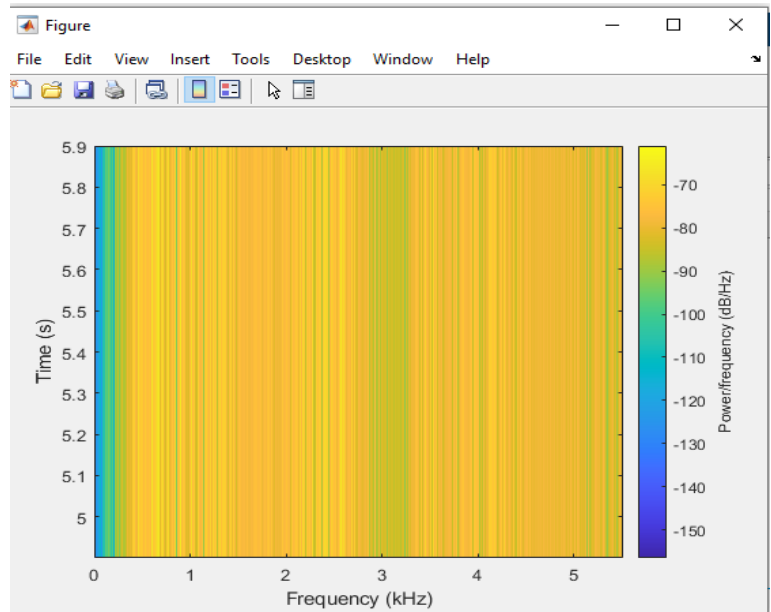
ניתן להבחין בתדירויות שבהן העוצמה חזקה מאד (הפולסים הצהובים) ובשאר האות שנוטה יותר לכיוון הכחול מה שמעיד שהוא חלש יותר.



2.

שרטוט ספקטוגרם לאחר הסינון:

ניתן להבחין כעת שעוצמה הדומיננטית(צבע צהוב) היא כעת לאורך כל ספקטרום האות וזאת כי האות סונן מהרעשים הסינוסים שהוכנסו לו ולכן שאר האות(הדיבור שנשמע ברקע) הוא הדומיננטי ביותר בספקטרום מה שיכול לאשר שהסינון נעשה בצורה טובה.



הסבר מה עשית ומה התקבל וצורף להגשה קובץ wav של אות דיבור נקי (לאחר סינון) וקוד Matlab (m file).

שאלה 2) 33%

הקובץ Vuvuzela מכיל אות דיבור (מתחיל אחרי כמה שניות) (רועש) (הרעש הוא כלי נגינה מעצבן ברקע). נסה לסלק את הרעש (גם כאן ברעש יש מספר רכיבי תדר דומיננטיים) ע"י שימוש במספר מסננים בטור אחד אחרי השני כאשר כל אחד מהם הוא מהצורה

$$H^z(z) = \frac{1 - 2 \cos(\theta_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r \cos(\theta_0)z^{-1} + r^2z^{-2}}$$

א. בחר 5 מסננים מתאימים. הסבר את בחירתך.

5 המסננים שבחרתי הם Notchfilter:

כאשר כל אחד מהם שונה במקדמיו אשר נלקחו בטטה שונה ו z שונה:

אם נסתכל על הפונקציה הנתונה ניתן לראות שהיא פתיחת סוגריים של פונקציה רציונלית בה גם המונה וגם במכנה יש מכפלה של צמודים קומפלקסים, מה שאומר שפתיחת הסוגריים כל המקדימים שנקבל יהיו ממשיים, ממשוואה זו ניתן ליצור מסך Notchfilter.

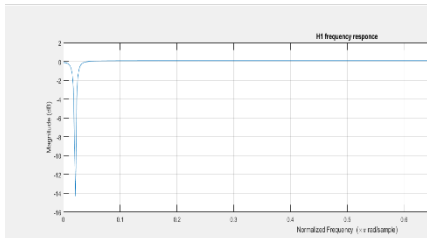
הבחירה במסך זה נובעת מההבנה שתדר כלי הנגינה בקובץ הנתון ותדר השדרן מאד מאד קרובים אחד לשני, לכן עלינו להשתמש במסך שיודע לאפס תדרים ספציפיים עם פגיעה מופחתת באות עצמו, מסך זה עושה זאת בצורה טובה מאד מכיוון שעל ידי משחק עם z ניתן לשלוט ברוחב הפס שלו מה שעוזר לשלוט בפגיעה שלו באות לאחר איפוס התדר הרצוי (נרחיב על איך בחרנו את z בהמשך) ועל ידי שרשרת של חמישה כאלה בטטות רצויות נוכל לסנן את האות בפגיעה מופחתת בתדרים שכן רצויים.

$$H^z(z) = \frac{(1 - e^{j\theta_0}z^{-1}) * (1 - e^{-j\theta_0}z^{-1})}{(1 - re^{j\theta_0}z^{-1}) * (1 - re^{-j\theta_0}z^{-1})}$$

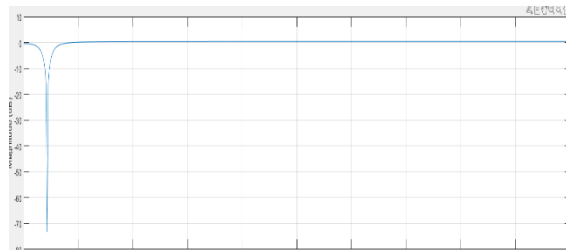
ב. הכן איור (ב) Matlab של תגובת התדר של כל מסנן וצורף לדו"ח. השווה את רוחב הסרט של המסננים ביחס למסננים בשאלה 1.

רוחב הסרט עבור כל מסנן חושב ידנית על ידי הסתכלות על התגובה לתדר במטלב וחיסור בין התדרים המתאימים. ירידה של -3db.

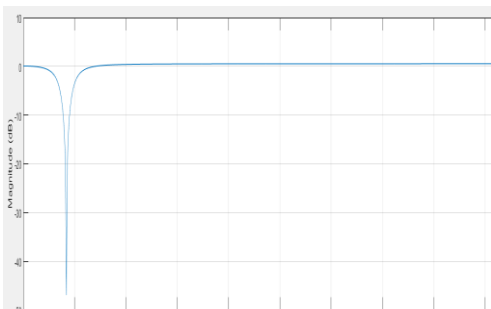
H1: Bandwidth = 64.6hz



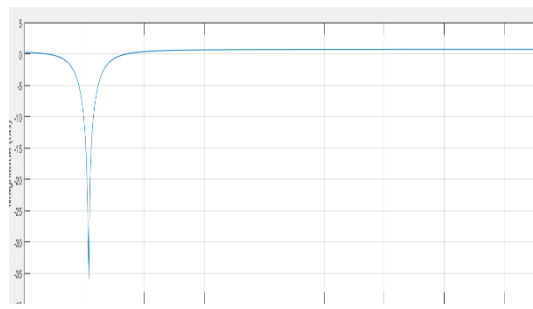
H2: Bandwidth = 258.426hz



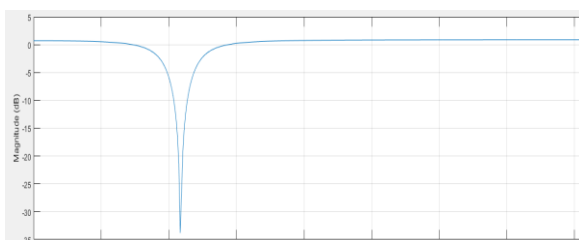
H3: Bandwidth = 366.03hz



H4: Bandwidth = 474.2955



H5: Bandwidth = 538.02hz



- רוחב הפס של החלונות בשאלה 1 גדול יותר מאשר בשאלה 2.
- אפשר להבין זאת מכיוון שהמסנן בשאלה 1 הוא bandstop ו notchfilter הוא מסנן bandstop שרוחב הסרט שלו צר יותר (קיימים קטבים).
- ניתן לשים לב לעוד תכונה שכל שז קטן גם רוחב הסרט גדל, ניתן להסיק שהאפסים דומיננטיים יותר רוחב הסרט גדול יותר.

ג. סנן את האות הרועש – המטרה היא לקבל את אות הדיבור עם רעש מופחת ככל האפשר ופגיעה קטנה ככל האפשר באיכות הדיבור בגלל הסינון. הסבר מה עשית ומה התקבל.

הסבר לפי שלבים:

שלב ראשון:

לאחר שמיעת האות הנתון כמה פעמים החלטנו והבנה שתדרי הכלי מאד קרובים לזה של השדרן , החלטנו להפריד את האות בצורה הבאה:

- לקחנו את האות המקורי בערך בשנייה הראשונה בא הוא מתחיל ,בזמן זה אנו שומעים רק את הכלי בעוצמה חזקה ואת הקהל בעוצמה קטנה משל הכלי.
- לאות החדש שלנו (חלק שבו שומעים רק את הכלי) עשינו התמרת והתבוננו בעוצמות הגבוהות של האות ובחרנו את 5 התדרים שנראים לנו הרלוונטיים ביותר לסינון, כל זה בעזרת FFT ופונקציית periodogram תחת סיומת Power.

Periodogram:

הוא כלי המעריך את הצפיפות הספקטרלית של אות מסוים , כלי הממומש בעיקר בפילטר FIR ופונקציות חלון בכדי לראות את עוצמת האות בדציבלים כפונקציה של התדר
מה זאת אומרת מעריך ? , כאמור רוב האותות בעולם הם אקראיים לכן לא ניתן לדעת בוודאות וישירות עוצמה של אות וכדומה , לכן משתמשים בהערכות [בעזרת קורלציה של האות] כדי לבחון את הקשר הסטטיסטי בין משתנים אקראיים שהם כאמור לדוגמא שתי נקודות זמן ספציפיות של אות כלשהו , בעזרת הקורלציה ניתן לבצע התמרת פורייה בזמן בדיד DFT או מהירה FFT , ובעצם ההערכה של העוצמה תהיה המגניטודה של ההתמרה בריבוע מחולקת באורך האות PSD צפיפות עוצמה ספקטרלית
למה דווקא periodogram ? כיוון שרעש הווזולה הוא כביכול "מולבש" על אות הדיבור של השדרן יהיה קשה להפריד בדיוק בין האותות , הכלי הזה התגלה לנו כנוח יותר לאנליזה ספקטרלית ומדויק יותר(ניתן להציב בה פשוט את החלון שאיתו רוצים לעבוד כתלות באורך האות, להדפיס בPSD, או POWER).
כלי זה שימש אותנו לראות עוצמה של אות מסוים ובכך לנתח אותו יותר בקלות ולהבין היכן העוצמות של אות מסוים לעומת אות אחר וכעוד בדיקה שהתדרים שקיבלנו מהFFT מספיק מדויקים לנו.

כלומר שילבנו בין השניים וכך בחרנו את 5 הטטות הרלוונטיות ביותר לסינון.

שלב שני יצירת המסננים:

מאחר ורצינו לאפס את העוצמה ב5 טטות שונות היה עלינו לבחור 5 מסננים שכל אחד מהם הוא Notchfilter.
לכן כל אחד מהפילטרים נוצר על ידי הצבת טטה לפי הסדר(5-1) ובחירת z מתאים.

בחירת המקדם z :

לאחר שהבנו שהמסננים שאנו צריכים הם Notchfilters וניתוח הפונקציה הנתונה, הבנו שהמקדם z יקבע לנו כמה "שקט" יהיה נטרול האות שלנו על פי מפת קטבים ואפסים האפסים שלנו נמצאים על מעגל היחידה לכן ההנחתה תהיה חזקה וככל ש z שהינו גורם משפיע על הקוטב במעגל וכידוע ככל שהקוטב קרוב ל1 כך ההגבר גדול ולהיפך כלומר כאשר ניקח z שקרוב ל1 סינון האות יהיה ספציפי יותר שיפוע המסנן יעלה מהר חזרה למעלה (כפי שניתן לראות בשרטוטים) מה שיפגום פחות בשאר התדרים לאומת זאת ככל שנקטין את z האפסים יהיו דומיננטיים יותר והעליה של המסנן תהיה איטית יותר ותפגע בתדרים האחרים יותר, לכן היה עלינו לחשוב איך לשחק עם הקוטב z בכלל אחד מהטטות כך שיינתן לנו את הנטרול הטוב ביותר של האות.

בחירת r_1, r_2, r_3 :

כפי שניתן לראות בפונקציית המטלב שלנו שני התדרים הראשונים שמצאנו רלוונטיים לסינון היו (230hz-457h)

תדרים אלו קרובים מאד לתדר הדיבור של האדם ולכן בתדרים אלו שמרנו על z שקרוב מאד לאחד בכדי שכל תדר שמגיע אחרי הטטה שאותה הנחתנו כמה שפחות יפגע ונוכל לשמוע מצוין את השדרן והקהל בפגיעה מינימלית ביותר.

בחירת r_4, r_5 :

לאחר משחק עם z גילינו שבגלל ש z הם קטבים עבור תדירויות שרחוקות יותר מתדר הדיבור אפשר להרחיק אותם יותר מאחד מכיוון שהעלייה האיטית שלהן פחות פוגעת בתדרי הדיבור.

חשוב לציין שהמקדמים ($r1-5$) נתונים לבחירה עבור המשתמש ניתן לשחק איתן להגדיל ולהקטין ולראות מה מקבלים אנו חושבים שהערכים שאנו הגענו עליהם אחרי כמה ניסיונות עושים עבודה מצוינת.

כמובן חשוב לציין לא לקחת את z גדול או שווה ל 1 כי אז המערכת שלנו אינה יציבה!, ולא קרוב מדי ל 0 כי אז אנו ננחית המון תדרים שאין לנו רצון להנחיתם.

ד. צרף להגשה קובץ wav של האות לאחר סינון וקובץ קוד Matlab (file)

m). ה. ה. ציין עד כמה הפתרון מוצלח, וחשוב כיצד לשפר את הסינון ו/או את איכות השמע אחרי הסינון. אם מימשת שיפור כזה – צרף להגשה גם קובץ wav של אות דיבור לאחר הפתרון המשופר שלך וקובץ קוד Matlab מתאים) בפורמט m file).

הפתרון שהצענו יעיל ועובד לאחר בדיקה ושמיעה של האות לאחר הסינון מכיוון שכפי שהסברנו לעיל ה θ z שבחרנו סיננו את רעש כלי הנגינה בצורה טובה כך שקיבלנו אות נקי ממנו.

אך לאחר חשיבה הגענו למסקנה שניתן לשפר את איכות הפתרון על ידי הפעלת סוג של איקוולייזר על האות המסונן, הרי אם אנו יודעים שקוטב מגביר ואפס מנחית החלטנו לקחת עוד מסנן ללא אפסים וכך להגביר את האות בתחום התדרים שבו הנחתנו.

רעיון זה יצמצם את הפגיעה שנעשה על די Notchfilter על ידי כך נגיע לתוצאה עוד יותר טובה שבה נגביר את התדרים הרצויים שנפגעו מהסינון הראשוני.

שאלה 3) 34%

במקרים רבים יש לתכנן מסנן FIR באורך N ולעדכן את המקדמים שלו בהתאם לאות כניסה.

אנו מעוניינים למצוא מסנן עם תגובת הלים $h[k]$, $k = 0, 1, \dots, N - 1$. נניח תנאי התחלה מאופסים

$$h_0[k] = \dots = h_{N-2}[k] = 0, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1$$

יש אות כניסה $x[n]$, $n = 0, 1, \dots, M - 1$ ויש אות רצוי $d[n]$, $n = 0, 1, \dots, M - 1$. הנח $M > N$.

נבצע את הצעדים הבאים:

1. הצב $n = N - 1$

2. חשב את

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h_{n-1}[k] x[n-k]$$

$$e[n] = d[n] - y[n]$$

3. עדכן את תגובת ההלים של מסנן ה-FIR בצורה הבאה

$$h_n[k] = h_{n-1}[k] + \Delta e[n] x[n-k], \quad k = 0, 1, \dots, N - 1$$

כאשר Δ הוא פרמטר לבחירתנו.

4. הגדל את n ב-1. אם כעת מתקיים $n = M$ סיים את האלגוריתם, אחרת חזור לשלב 2.

השאלה בעמוד הב' א

1 הגדר אות כניסה ב Matlab ע"י

$$2*a*(\text{rand}(1,M)-0.5)$$

כאשר a הוא פרמטר (מספר ממשי חיובי) לבחירתך, M לפי סימון בעמוד קודם) הוא האורך של אות הכניסה – נתון לבחירתך.

2.

הנח שיש מערכת IIR כאשר הקשר בין כניסה $x[n]$ ויציאה $d[n]$ נתון ע"י

$$d[n] = a_1 d[n-1] + a_2 d[n-2] + x[n] + b_1 x[n-1] + b_2 x[n-2]$$

הפרמטרים a_1, a_2, b_1, b_2 נתונים לבחירתך. ניתן לממש מסנן כזה ע"י פונקציית filter ב Matlab.

3. באמצעות האלגוריתם מעמוד קודם, מצא מסנן FIR באורך N (הוא פרמטר לבחירתך) כך שתגובת ההלם שלו תהיה קירוב טוב לתגובת ההלם של מסנן IIR.

במקרה זה $e[n] = d[n] - y[n]$ כאשר $y[n]$ היא היציאה של מסנן FIR ו $d[n]$ היא היציאה של מסנן IIR.

שים לב ש $M \gg N$. נשתמש בערכי אות כניסה עד להתכנסות (כלומר מסנן FIR לא משתנה באופן משמעותי).

- בחן את ההתכנסות בתלות בערכי N, Δ שונים. לאיזה מסקנות הגעת?
- בחן את הקירוב המתקבל בתלות ב N . וצרף איורים שמציגים (בכל פעם באותו איור עבור כל N) את תגובת ההלם של מסנן IIR שבחרת ואת תגובת ההלם של מסנן FIR לאחר ההתכנסות של האלגוריתם.

הוסף הסבר של מה שעשית וצרף להגשה קבצי קוד Matlab בפורמט m file.

בשאלה זו התבקשנו לתכנן מסנן fir עם אלגוריתם נתון שבו נבדוק את השגיאה על ידי יציאת אות ממסנן IIR(dn) מול יציאת אות ממסנן FIR(yn) ועדכון המסנן החדש בהתאם לשגיאה כך שתגובת ההלם שלו תהיה כמו מסנן IIR שאותו מצאנו על ידי משוואת הפרשים הנתונה.

*בחירת מקדמי IIR:

את המקדמים של מסנן זה בחרנו כך שמקדמי המכנה יהיו קטנים מ1 כך שנקבל מערכת יציבה.

האות d(n):

אות זה חושב על ידי הכנסת אות הכניסה הנתון חא למסנן הIIR שאותו ציוונו קודם.

האות y(n):

אות זה מחושב מחדש עבור כל עדכון של מסנן FIR החדש שאותו אנו מעדכנים בכל צעד באלגוריתם על ידי חישוב השגיאה $d(n)-y(n)$.

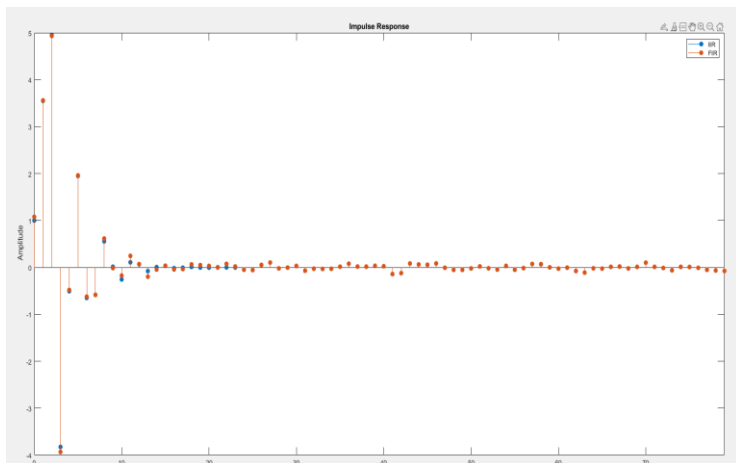
האות e(n):

אות זה הוא ההפרש, השגיאה בין האות dn לאות חy המוזכרים למעלה.

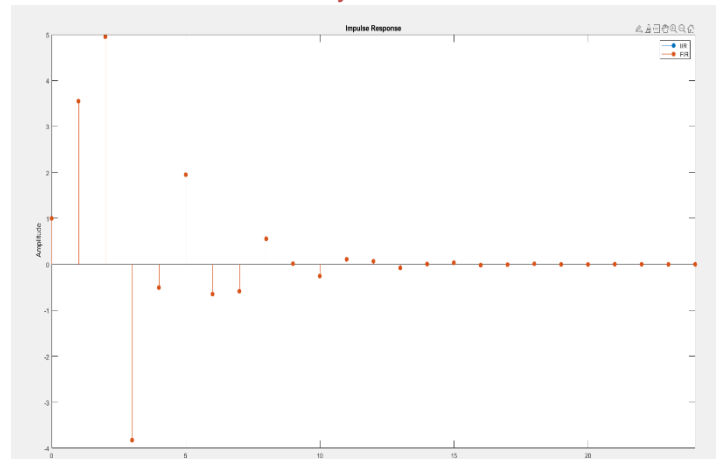
ראשית נציין מהם הפרמטרים הללו:

- דלתא**-פרמטר האחראי על קצב ההתכנסות של תגובת ההלם של מסנן ה FIR , ככל שדלתא גדולה יותר כך ההתכנסות מהירה יותר, וככל שקטנה יותר כך גם ההתכנסות, ניתן לראות שכשדלתא גדולה מדי המערכת לא יציבה.
- N**- סדר הפילטר (FIR), כעקרון סדר הפילטר הוא סדר משוואת הפרשים שמתארת את המסנן , אם נסתכל בצורה של השהיית אות הכניסה ניתן לומר כי N גדול גורר השהייה גדולה יותר.
- בנוסף N גדול יותר אמור לשפר את פעולת המסנן ואכן כך המצב אך יש להסתכל על כמה היבטים :
- אם נתסכל לדוגמא על מסנן LP מעשי , כאשר ניקח N גדולים יותר ויותר תחום המעבר שלנו יקטן יותר ויותר כלומר המרחק בין θ_p ל- θ_s נהיה קטן יותר, השיפוע נהיה חד יותר וכך מתקבל פילטר יותר מוצלח
 - N גדול מצביע גם על מספר דגימות גדול לכן אם ניקח N גדול נקבל כי תגובת ההלם של מסנן FIR תכיל יותר ערכים .
 - N האידיאלי שמצאנו הוא, שיהיה בערך באורך תגובת ההלם של מסנן IIR . כך מתקבל הקירוב הטוב ביותר. כלומר N גדול מאורך תגובת ההלם של מסנן IIR ייתן יותר דגימות כמובן אך יותר ויותר צפופות כך שקשה יהיה ניתן להבחין באמת אם הקירוב התקבל , לכן הכי בטוח יהיה להסתכל על תגובת ההלם של מסנן IIR לראות היכן מתחילים להתקבל רק אפסים וזה יהיה סדר המסנן N.
 - לאחר שביצענו כמה הרצות, הבנו שקיים יחס מסוים בין דלתא לסדר המסנן הגענו למסקנה שאם נגדיל את סדר המסנן יש להקטין את דלתא ביחס המתאים למשל אם הגדלנו את N פי 3 יש להקטין את דלתא פי 3 ונקבל דיוק לא רע בתגובת ההלם, כלומר אם N גדל דלתא קטן אם N קטן דלתא גדל.

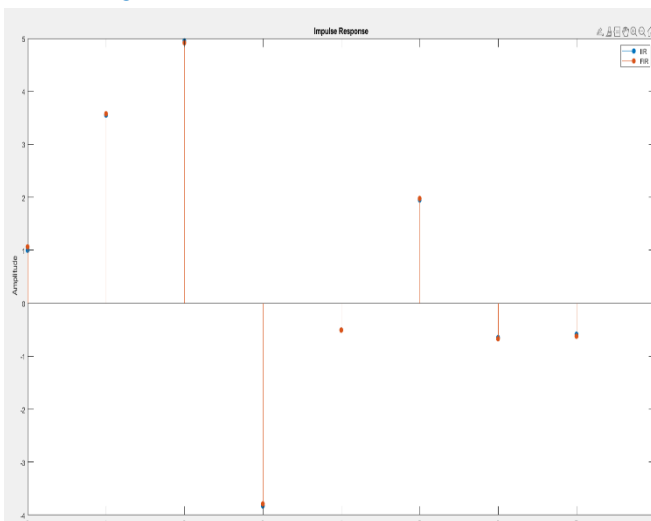
N=80



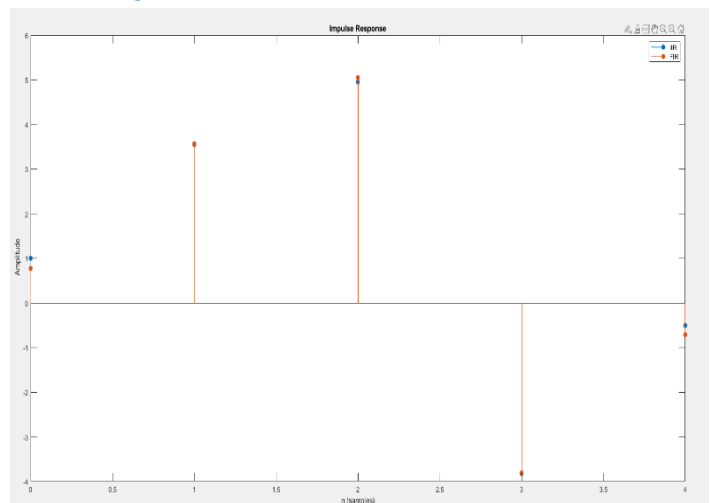
N=25: : best accuracy



N=9:



N=5



שאלה 4

הכן סרטון של 3-5 דקות (קובץ בפורמט MP4) שמסביר היטב את הפתרון שלך לכל שאלה.

בתשובה לשאלה זאת בעבודה: רשום קישור (link) להורדה של הסרטון.

הסרטון צריך להיות זמין להורדה (ע"י הקישור) החל מזמן ההגשה!

ההסברים בסרטון ישפיעו על הניקוד שינתן בכל שאלה!