

המחלקה להנדסת אלקטרוניקה, מחשבים והנדסה רפואית
בית הספר להנדסה - רופין

דגימה ושחזור

מעבדה מס. 3 -

תעודת זהות המגישים: 1. 203773601

2. 319001319

תאריך הגשה: 20/11/2022

מבוא

בזמן שיחת טלפון, מערכת הטלפון הדיגיטלית משדרת רצפים של אותות אודיו דגומים בין המרכזיה לשפורפרת בצד השני של השיחה. שידור אות אודיו בין מרכזית הטלפונים לשפורפרת מתבצעת בדרך כלל בצורה אנלוגית. במרכזיה, מתבצעות ההמרות מאנלוגי לדיגיטלי (דגימה וקוונטיזציה) ולהיפך (שחזור). תכנון ההמרות מתבסס על העובדה שמרבית האנרגיה בקול האדם מתרכזת מתחת ל- 3.5 kHz . נניח 4 kHz ליתר בטחון ונקבל כי תדר ניקוויסט הוא $8000 \frac{\text{samples}}{\text{sec}}$ שהוא תדר בדגימה הסטנדרטי במערכת הטלפונים.

בכל פעם, במרכזיה האות האנלוגי מסונן על ידי מסנן Low Pass בכדי להוריד מרכיבי תדר מעל 3.5 kHz , כך שלא יקרה מצב של התחזות. לאחר מכן, האות נדגם ומשודר ליעדו. בחלק הראשון של המעבדה נתייחס למקרים שבהם לא קיים מסנן anti-aliasing ולכן קיימת תופעת ההתחזות.

מטרות

1. ניתוח תיאורטי ושמיעתי של תופעת ההתחזות (aliasing) בזמן דגימה של אות בזמן רציף.

ניסויים

■ תופעת ההתחזות (aliasing)

בחלק זה ננתח את תופעת ההתחזות עבור אות סינוסואידלי אשר נדגם ונשלח דרך מערכת הטלפון (ניתן להניח כי אדם בצד אחד של שיחת הטלפון מזמזם אותות סינוסואידליים שונים דרך השפורפרת). אנו מעונינים במה שקורה בצד השני של הטלפון.

שאלות

1. כתוב פונקציה במטל"ב (function file) בשם sample_singen.m אשר יוצר אות סינוסואידלי מהצורה,

$$x(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \phi)$$

את האות יש לדגום במרווח דגימה $T_s = 1/f_s$, כאשר f_s הוא תדר הדגימה, ו- ϕ היא פאזה כלשהי. האות הדגום נתון על ידי,

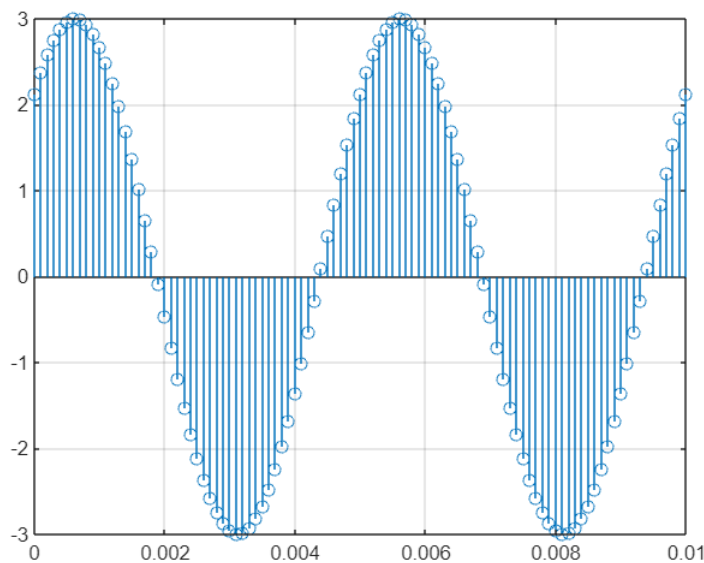
$$x(nT_s) = A \sin(2\pi f_0 nT_s + \phi) = A \sin\left(2\pi \frac{f_0}{f_s} n + \phi\right)$$

הפונקציה צריכה לקבל את המשתנים f_0, A, ϕ, f_s, n_1 ו- n_2 , כאשר $n_1 Ts$ הוא הערך ההתחלתי של וקטור הזמן המבוקש, ו- $n_2 Ts$ הוא סופו. הפונקציה תחזיר שני וקטורים, וקטור הזמן הדגום, $tvec$, ווקטור האות הדגום $xnTs$.

2. קבע את $f_s = 10\text{KHz}$ ואת $f_0 = 200\text{Hz}$, וחשב את $x(nTs)$ עבור אינטרוול זמן מ-0 עד 10 מילי שנייה. שרטט את $x(nTs)$ בעזרת שימוש בפונקציה `stem`. קבע את A ו- ϕ והסבר מדוע ערכים אלו מתאימים עבור הניסוי. הוסף את השרטוט לדוח והסבר את התוצאות.

q2

```
f0 = [200, 400, 800, 1000];
Fs = 10*10^3;
n1 = 0;
n2 = 100;
[tvec, xnTs] = single_singen(f0(1), 3, Fs, pi/4, n1, n2);
figure(1)
stem(tvec, xnTs);
grid on;
```



קיבלנו אות סינוסי בדיד בתדר הרצוי, ובהתאם גם ל- A ו- ϕ .
 אנו רואים גם שקיבלנו 2 מחזורי סינוס עבור האות הדגום.
 3. כאשר האות הדגום נשלח ליעדו, הוא מומר בחזרה לאות אנלוגי ואז נשלח אל טלפון היעד. לשם פשטות נניח שההמרה מאות דיגיטלי לאנלוגי נעשה על ידי חיבור דגימות הקול בעזרת קוים ישרים.

- איזה משחזר מעשי מבצע שחזור שכזה?

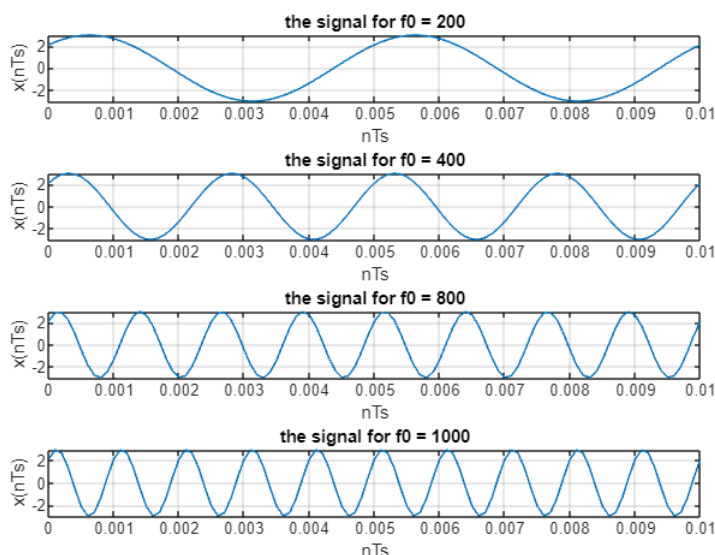
המשחזר שפועל ככה הוא משחזר FOH.

ניתן לראות שחזור שכזה במטל"ב פשוט על ידי שימוש בפונקציית plot במקום שימוש ב-stem. בפועל נעשה שחזור חלק יותר על ידי שימוש במסנן אנלוגי במוצא.

עבור אינטרוול זמן מ-0 עד 10 מילי שנייה, שרטט את $x(nTs)$ עם שימוש בפונקציית plot עבור ערכי $f_0 = 200, 400, 800, 1000 \text{ Hz}$. יש לשרטט את 4 השרטוטים ב-figure אחד באמצעות שימוש ב-subplot. הוסף כותרת עבור כל תת שרטוט בעל ערך f_0 שונה. הוסף את השרטוט לדוח.

q3

```
figure(2)
for i = 1:4
    [tvec,xnTs] = single_singen(f0(i), 3, Fs, pi/4, n1, n2);
    subplot(4,1,i);
    plot(tvec, xnTs);
    xlabel('nTs');
    ylabel('x(nTs)');
    title_vec = ['the signal for f0 = ', int2str(f0(i))];
    title(title_vec);
    grid on;
end
```



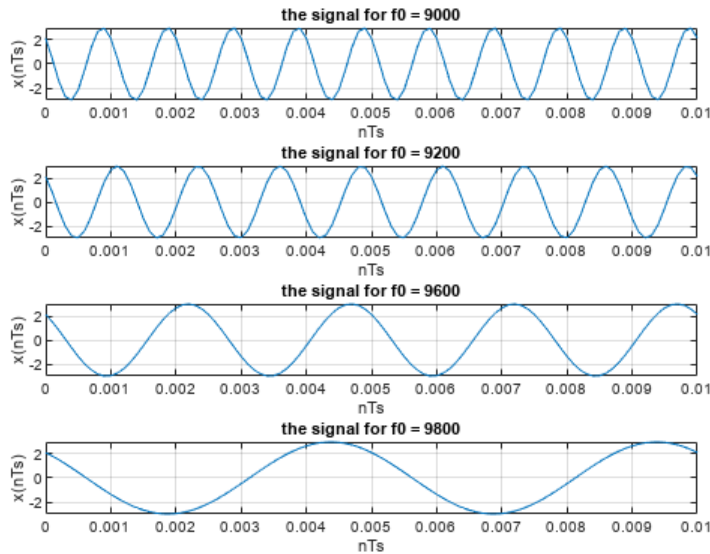
4. השמע כל אחד מהאותות הסינוסואידליים שיצרת באמצעות שימוש בפונקציה $\text{soundsc}(xnTs, f_s)$, כאשר f_s הוא תדר הדגימה. בכדי שניתן יהיה לשמוע בצורה ברורה

יותר את האותות הארך את אינטרוול הזמן של האות הדגום $x[nT_s]$ לשניה אחת במקום 10 מילי שניות.

- תאר את מה ששמעת.
 - שמענו צלילים בתדרים שונים, ככל שהתדר גבוה יותר כך גם הצליל גבוה יותר.
 - בחר ערך שונה לפאזה ϕ וחזור על הניסוי. האם ניתן לשמוע את ההבדל? הסבר מדוע.
 - הזזת הפאזה לא משנה את תדר האות, מה שאנחנו שומעים זה את תדר האות. הזזה בתדר גם לא עושה דילאיי.
5. כעת שרשר את 4 האותות שיצרת בסעיף הקודם לוקטור אחד שיכיל רצף של 4 שניות. השמע את האות באמצעות שימוש בפקנציה `soundsc`. הסבר את מה ששמעת, והסבר מדוע היה ניתן לצפות לכך.
- שמענו את הצלילים בצורה רציפה, וזה מה שצפינו כי ההבדל הוא בין 4 וקטורים שונים לוקטור אחד.
6. חזור על סעיפים 3-5 אך כעת עבור התדרים $f_0 = 9000, 9200, 9600, 9800 \text{ Hz}$. הסבר את מה ששמעת, והסבר מדוע היה ניתן לצפות לכך.

q6

```
f0 = [9000, 9200, 9600, 9800];
figure(3)
output_signal = [];
for i = 1:4
    [tvec,xnTs] = single_singen(f0(i), 3, Fs, pi/4, n1, n2);
    output_signal = [output_signal xnTs];
    subplot(4,1,i);
    plot(tvec, xnTs);
    xlabel('nTs');
    ylabel('x(nTs)');
    title_vec = ['the signal for f0 = ', int2str(f0(i))];
    title(title_vec);
    grid on;
    soundsc(xnTs, Fs);
    pause(1);
    [tvec, xnTs] = single_singen(f0(i), 3, Fs, 0, n1, Fs); %%different
phase
    soundsc(xnTs, Fs);
    pause(1);
end
```



```
soundsc(output_signal, Fs);
pause(0.5);
```

תדר הדגימה לא מקיים תנאי נייקוויסט ולכן מתחרשת התחזות. הצלילים שהתקבלו היו נמוכים בסדר יורד, מה שלא צפינו מתדר גבוה.
7. מהן המסקנות עבור חלק זה של הניסוי?

לאחר ביצוע חלק זה של הניסוי מדוע ניתן לומר כי תפקוד מערכת הטלפון תרד משמעותית אם לא יהיה מסנן anti-aliasing בכניסת המערכת?
התקבלו צלילים לא נכונים, לכן ייתכן וכאשר נרצה לחייג למספר כלשהו המרכזייה לא תקלוט נכון את הנדרש, או שהקול שלנו לא ישוחזר טוב.
הסבר איך שימוש במסנן זה יכול למנוע אפקטים שליליים אלה.
המסנן יכול לשפר את דיוק השחזור, שגם אם יש תדרים גבוהים מידי אז לא תהיה התחזות ונקבל קירוב מספיק לאות המקורי.
מה היה קורה בחלק זה של הניסוי אם היה קיים מסנן שכזה בכניסת המערכת?
הצלילים היו קרובים למה שהיינו צופים ולא הייתה התחזות.

▪ תופעת ההתחזות (aliasing) ב-Chirp Signal

בחלק זה ננתח את תופעת ההתחזות עבור chirp signal. Chirp הוא אות שהתדר שלו הוא ליניארי בתלות בזמן. אנו נתייחס לאות מהצורה,

$$c(t) = A \cos(\pi \mu t^2 + 2\pi f_1 t + \phi)$$

מהו התדר של האות? אנו יודעים כי התדר של האות $\cos(2\pi f_0 t)$ הוא $2\pi f_0 \text{ rad/sec}$ או $f_0 \left[\frac{\text{cycles}}{\text{sec}}, \text{Hz} \right]$. בנוסף ניתן לומר כי $\theta = 2\pi f_0 t$ היא הפאזה של האות ושמתיקיים $2\pi f_0 = d\theta/dt$. נסמן את $\theta = \pi\mu t^2 + 2\pi f_1 t$ ונקבל עבור אות ה-chirp את התדר הבא,

$$\frac{d\theta}{dt} = 2\pi\mu t + 2\pi f_1 = 2\pi(\mu t + f_1) \Rightarrow f(t) = (\mu t + f_1)$$

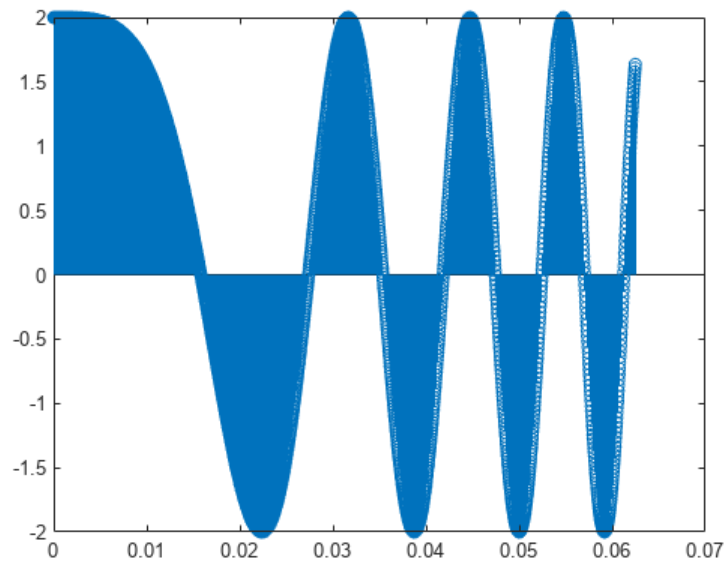
כלומר, תדר האות עולה בצורה ליניארית בתלות בזמן וערכו ההתחלתי הוא $f_1 \text{ Hz}$.

שאלות

1. כתוב פונקציה במטל"ב (function file) בשם `sample_chirpgen.m` אשר דוגם את האות לעיל. הפורמט של הפונקציה צריך להיות דומה לפונקציה בחלק הראשון של הניסוי. הפונקציה צריכה לקבל את המשתנים $f_1, \mu, A, f_s, \emptyset, n_1$ ו- n_2 . הפונקציה תחזיר שני וקטורים, וקטור הזמן הדגום, `tvec`, ווקטור האות הדגום `cnTs`.
2. קבע את $f_1 = 0 \text{ Hz}$ ואת $\mu = 2000$. התחל בשימוש בתדר דגימה $f_s = 32 \text{ kHz}$. חשב את $c(nTs)$ עבור אינטרוול זמן של 8 שניות. שרטט את 2000 הדגימות הראשונות של האות הדגום בכדי לראות איך האות נראה בעזרת שימוש בפונקציית `stem`. השמע את האות הדגום באמצעות שימוש בפונקציה `(soundsc(cnTs, f_s))`. הוסף את השרטוט לדוח והסבר את מה ששמעת וראית.

q2

```
figure(3)
f1 = 0;
n1 = 0;
mue = 2000;
Fs = 32*10^3;
n2 = 8*Fs;
[tvec, cnTs] = sample_chirpgen(f1, 2, Fs, 0, n1, n2, mue);
stem(tvec(1:2000), cnTs(1:2000));
```

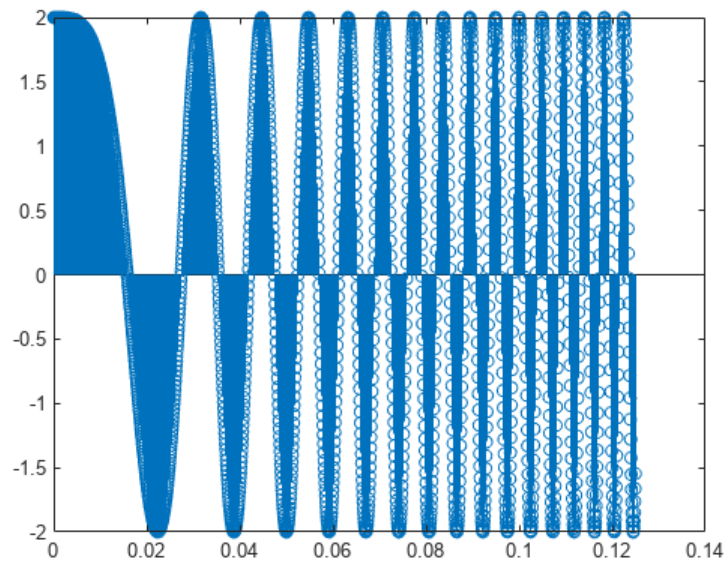


```
soundsc(cnTs, Fs)
pause(8);
```

שמענו צליל נמוך שבמשך הזמן עולה.
 3. חזור על סעיף 2 רק שכעת תדר הדגימה $f_s = 16kHz$. בשימוש בתיאוריה על אות זה,
 הסבר בצורה מפורטת את מה ששמעת.

q3

```
figure(4)
Fs = 16*10^3;
n2 = 8*Fs;
[tvec, cnTs] = sample_chirp(f1, 2, Fs, 0, n1, n2, mue);
stem(tvec(1:2000), cnTs(1:2000));
```

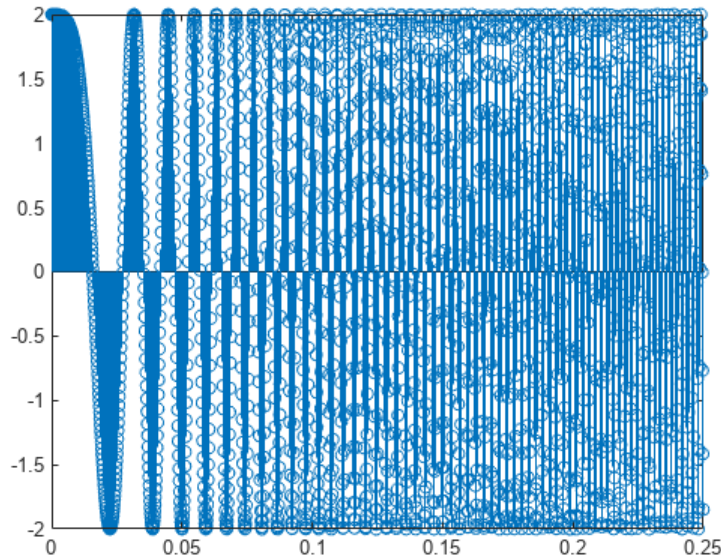



```
soundsc(cnTs, Fs)
pause(8);
```

שמענו את הצליל עולה ואז יורד, זה קורה בגלל התחזות.
 4. חזור על סעיף 2 עבור $f_s = 8kHz$, תדר זה מתאר את המצב שבו האות נשלח במערכת הטלפון ללא שימוש במסנן anti-aliasing. מה ניתן יהיה לשמוע כאשר יהיה קיים מסנן זה?

q4

```
figure(5)
Fs = 8*10^3;
n2 = 8*Fs;
[tvec, cnTs] = sample_chirp(f1, 2, Fs, 0, n1, n2, mue);
stem(tvec(1:2000), cnTs(1:2000));
```



```
soundsc(cnTs, Fs)
pause(8);
```

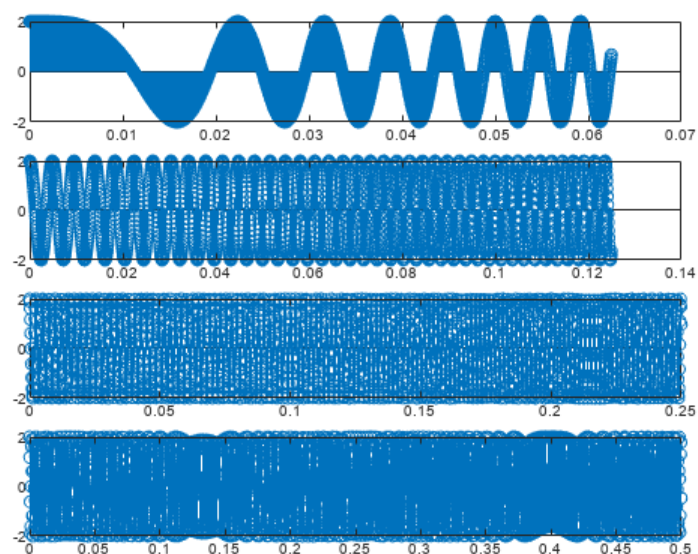
האות יהיה תקין למשך 2 שניות, לאחר מכן תתחיל תופעת התחזות ונקבל צליל לא נכון.
אם נשתמש במסנן anti-aliasing נוכל לשמוע את האות הנכון לכל זמן.

$$\omega_s \geq 2\omega_{max} \Rightarrow t \leq \frac{f_s}{2\mu}$$

5. נסה שוב עבור ערכים שונים של f_s ו- μ . בכל אחד מהמקרים הסבר את ששמעת
באמצעות שימוש בתיאוריה.

q5

```
figure(5)
f1 = [0 200 400 600];
Fs = [32 16 8 4].*10^3;
mue = [4000 2000 1000 500];
for i = 1:4
    n2=8*Fs(i);
    subplot(4,1,i)
    [tvec, cnTs] = sample_chirpgen(f1(i), 2, Fs(i), 0, n1, n2,
    mue(i));
    stem(tvec(1:2000), cnTs(1:2000));
    soundsc(cnTs, Fs(i));
    pause(8);
end
```



עבור תדרים וערכי מיו שונים מקבלים קצב עליה וירידה שונה שנובע מהתנאים על תדר הדגימה המקסימלי האפשרי ללא התחזויות. הירידה בצליל נובעת מהתחזות. בנוסף לכך, הצליל השתנה כי החלפנו את התדר.