המחלקה להנדסת אלקטרוניקה, מחשבים והנדסה רפואית

בית הספר להנדסה - רופין

### מעבדה מס. 3 - דגימה ושחזור

מגיש: ארז יעקב איינס

תאריך הגשה: 20/04/18

### מעבדה מס. 2 - דגימה ושחזור

# מטרות

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

# ניסויים

* + **תופעת ההתחזות (aliasing)**

**שאלות**

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

את האות יש לדגום במרווח דגימה , כאשר הוא תדר הדגימה, ו- היא פאזה כלשהי. האות הדגום נתון על ידי,

הפונקציה צריכה לקבל את המשתנים , , , , ו- , כאשר הוא הערך ההתחלתי של וקטור הזמן המבוקש, ו- הוא סופו. הפונקציה תחזיר שני וקטורים, וקטור הזמן הדגום, tvec, ווקטור האות הדגום xnTs.

function [tvec,xnTs] = sample\_singen(f0,A,fs,phi,n1,n2)  
%Sampled Sin wave Generator.  
% [tvec,xnTs] = sample\_singen(f0,A,fs,phi,n1,n2) computes a vector of  
% samples from a Sinusoidal of frequency 'f0' with amplitude 'A' and phase  
% 'phi'.  
%  
% INPUTS:  
%  
% 'f0' - Sin frequency.  
% 'A' - Sin Amplitude  
% 'phi' - Sin phase  
% 'fs' - the sampling frequency.  
% 'n1' - the first sample discrete time.  
% 'n2' - the last sample discrete time.  
%  
% OUTPUTS:  
%  
% tvec - time vector of length n2-n1+1 containing sample times in seconds.  
% xnTs - sampled vector of length n2-n1+1 containing samples of user  
% specified Sinusoidal at times 'tvec'.  
%  
  
Ts=1/fs; %calc base sample time  
tvec=Ts.\*(n1:n2); %compute sampling times vector  
xnTs=A\*sin(2\*pi\*f0.\*tvec+phi); %sample the desired Sinusoidal  
  
end

1. קבע את ואת , וחשב את עבור אינטרוול זמן מ- 0 עד 10 מילי שנייה. שרטט את בעזרת שימוש בפונקצית stem. קבע את ו- והסבר מדוע ערכים אלו מתאימים עבור הניסוי. הוסף את השרטוט לדוח והסבר את התוצאות.
   * הגרף:  
     
   * קבעתי את הפרמטרים כך:  . את A בחרתי באופן שרירותי כי הוא נוח ומוכר. את  בחרתי כך, כי אז קל לראות שהדגימה התבצעה כמו שצריך ,במרווחים הנכונים, ושבזמן הדגימה הכולל של 10 מילי-שניות רואים בבירור מחזור אחד של סינוס (ללא פאזה) שזמן המחזור שלו הוא 10 מילי-שניות  .
   * אכן אנו רואים בבירור, מחזור שלם בזמן מחזור של 10 מילי-שניות של סינוס באמפליטודה 1 ופאזה 0.
2. 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?
  + גרעין שיחזור First-Order-Hold לא סיבתי מבצע שיחזור כזה. אם נדרוש תגובה להלם כמו זו שמצויינת בהמשך נקבל שחזור קונבולוציה לינארי:
  + 

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 עם שימוש בפונקצית plot עבור ערכי . יש לשרטט את 4 השרטוטים ב- figure אחד באמצעות שימוש ב- subplot. הוסף כותרת עבור כל תת שרטוט בעל ערך שונה.

הוסף את השרטוט לדוח.

* הגרף:  
  

1. השמע כל אחד מהאותות הסינוסואידליים שיצרת באמצעות שימוש בפונקציה soundsc(xnTs, ), כאשר הוא תדר הדגימה. בכדי שניתן יהיה לשמוע בצורה ברורה יותר את האותות הארך את אינטרוול הזמן של האות הדגום xnTs לשניה אחת במקום 10 מילי שניות.

* תאר את מה ששמעת.
  + האות הדגום בתדר 100 הרץ נשמע במשך שניה אחת והיה אחיד בתדר. לא הצלחתי לשמוע תדרים אחרים או רעשים באות.
  + שאר האותות נשמעו בתדרים גבוהים יותר (כל אות לפי התדר שלו), ושוב שמעתי אות רציף בתדר אחיד וללא רעשים והפרעות.
* בחר ערך שונה לפאזה וחזור על הניסוי. האם ניתן לשמוע את ההבדל? הסבר מדוע.
  + לא שמעתי שום הבדל בין האותות הדגומים המקוריים והאותות לאחר ששיניתי את הפאזה לערך . ההסבר לתופעה הוא שהאות שאנחנו שומעים, אפילו בתדר הנמוך ביותר בניסוי (100 הרץ) הוא אות בעל 100 מחזורים בשניה, שאורך מחזור אחד שלו הוא 10 מילי-שניות אנו לא מצליחים לשמוע את ההזזה הזמנית הקטנה (שינוי פאזה בתדר).

1. כעת שרשר את 4 האותות שיצרת בסעיף הקודם לוקטור אחד שיכיל רצף של 4 שניות. השמע את האות באמצעות שימוש בפוקנציה soundsc. הסבר את מה ששמעת, והסבר מדוע היה ניתן לצפות לכך.
   * לאחר השרשור שומעים את ארבעת התדרים מושמעים בזה אחר זה.
   * הזזה זמנית היא שינוי פאזה בתדר ולכן, חיבור האותות המוזזים נשמע כמו שרשור רגיל(כי לא שומעים את הבדלי הפאזה) של האותות המקוריים.
   * מבחינה מעשית (אני משער...) מכיוון שכשהאות עובר שיחזור מעשי, ההשפעה של כל דגימה באות היא בקרבת מיקומה, אז, אם יש הבדל בעקבות השרשור -> הוא נמצא באיזור המעבר בין האותות (כלומר, בסוף השניה הראשונה, השניה והשלישית) והבדלים אלו כל כך נמוכים שאנו לא שומעים אותם.
2. חזור על סעיפים 3-5 אך כעת עבור התדרים . הסבר את מה ששמעת, והסבר מדוע היה ניתן לצפות לכך.
   * עבור התדר 7200 הרץ שמעתי צליל זהה לזה ששמעתי עבור 800 הרץ.
   * עבור התדר 7600 הרץ שמעתי צליל זהה לזה ששמעתי עבור 400 הרץ.
   * עבור התדר 7800 הרץ שמעתי צליל זהה לזה ששמעתי עבור 200 הרץ.
   * עבור התדר 7900 הרץ שמעתי צליל זהה לזה ששמעתי עבור 100 הרץ.
   * ההסבר לתופעה הוא התחזות של התדרים הגבוהים לתדרים נמוכים שנובעת מקיפול בתדר. התדר 7200 שקול בדגימה של 8000 הרץ לתדר "מקופל" של 800 הרץ (ניתן לראות זאת בקלות בעזרת ההתמרות הבדידות), ומכיוון שלמשחזר אין שום מושג על האות המקורי והוא מפעיל גרעין שחזור שמשתמש בתדר הדגימה (8000 הרץ) אז הוא לא מסוגל להפיק צליל בתדר גבוה מ-4000 הרץ שהוא תדר נייקוויסט.
   * בתדרים הגבוהים גם לא ניתן להבחין בשינוי הפאזה, משום שזו לא משפיעה על תכולת התדר אלה רק מזיזה זמנית את האות, לכן אם לא הצלחנו להבחין בשינוי הפאזה בתדרים הנמוכים, לא נוכל להבחין בשינוי הפאזה בתדרים שמתחזים לתדרים הנמוכים.
3. מהן המסקנות עבור חלק זה של הניסוי?
   * דגימת אותות סינוסודאליים טהורים בתדרים 100, 200, 400 ו-800 הרץ בתדר דגימה של 8 קילו-הרץ מובילה לשיחזור מוצלח של האות ע"י כרטיס הקול של המחשב.
   * דגימת אותות סינוסודאליים טהורים בתדרים 7200, 7600, 7800 ו-7900 הרץ בתדר דגימה של 8 קילו-הרץ מובילה לשיחזור כושל של האות ע"י כרטיס הקול של המחשב.
   * לא ניתן להבחין באוזן אנושית בשינוי פאזה של אות סינוסוידאלי טהור.
   * שרשור אותות שעוברים שיחזור מוצלח מוביל לאות שעובר שיחזור מוצלח והוא שרשור השיחזורים.
   * תדרים קרובים לתדר הדגימה מתחזים לתדרים נמוכים יותר לאחר שדוגמים אותם (לפי הניסוי הספציפי, לפחות עבור תדרים שגבוהים מ-7000 הרץ עבור תדר דגימה של 8000 הרץ).

לאחר ביצוע חלק זה של הניסוי מדוע ניתן לומר כי תפקוד מערכת הטלפון תרד משמעותית אם לא יהיה מסנן anti-aliasing בכניסת המערכת?

* בהקלטת אות הדיבור, התדרים אינם סדרתיים בזמן אלה מעורבבים בזמן, לכן תדרים גבוהים יעברו קיפול תדרי לתדרים נמוכים וייתחזו אליהם אך באותה העת גם ישנו אמפליטודה זמנית באות של תדר נמוך, כלומר לא יהיה ניתן להבין בצורה ברורה את התדרים שכן מעניינים אותנו (שלא כמו בניסוי שבו התדרים השונים מופרדים אחד מהשני בהזזות זמניות ולכן קל לשמוע את הקיפולים).

הסבר איך שימוש במסנן זה יכול למנוע אפקטים שליליים אלה.

* אם נשתמש במסנן כזה, אז באות לאחר הסינון לא קיימים (לפחות לא באמפליטודה משמעותית) תדרים שגבוהים מתדר נייקוויסט, לכן תכולת התדר הזו היא אפס ולכן גם קיפולם בתדר הוא אפס(גם לאחר הזזה זמנית), כלומר, לא קיים אף תדר גבוהה שמתחזה לתדר נמוך (בכל זמן באות) ולא מקבלים שינוי של האמפליטודות הרצויות שהן עיקר הדיבור שנרצה לדגום ולשלוח.

מה היה קורה בחלק זה של הניסוי אם היה קיים מסנן שכזה בכניסת המערכת?

* אם המסנן אידיאלי בקירוב אז אמפליטודת התדרים 7200, 7600, 7800 ו-7900 היא אפס לאחר המסנן (למסנן קיים תדר קטעון של 4000 הרץ) לכן דגימת האותות דוגמת אות אפס ומשחזרת דרך כרטיס הקול של המחשב אות אפס, לכן לא נשמע כמעט דבר.
  + **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,

מהו התדר של האות? אנו יודעים כי התדר של האות הוא או . בנוסף ניתן לומר כי היא הפאזה של האות ושמתקיים . נסמן את ונקבל עבור אות ה- chirp את התדר הבא,

כלומר, תדר האות עולה בצורה ליניארית בתלות בזמןף וערכו ההתחלתי הוא .

**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 , , , , , ו- . הפונקציה תחזיר שני וקטורים, וקטור הזמן הדגום, tvec, ווקטור האות הדגום cnTs.

function [tvec,cnTs] = sample\_chirpgen(f1,A,mu,phi,fs,n1,n2)  
%Samples a chirp signal of linear-varying frequency.  
%  
% [tvec,cnTs] = sample\_chirpgen(f1,A,mu,phi,fs,n1,n2) Samples the chirp  
% signal of base frequency f1, at fs Hz  
%  
% INPUTS:  
% f1 = chirp base frequency.  
% A = chirp Amplitude.  
% mu = frequency variation in [Hz/sec] or [1/sec^2].  
% phi = offset Phase.  
% fs = sampling frequency.  
% n1 = first sample discrete time.  
% n2 = last sample discrete time.  
%  
% OUTPUTS:  
% tvec = time vector of length n2-n1+1 containing sample times in seconds.  
% cnTs = sampled vector of length n2-n1+1 containing samples of user  
% specified Chirp at times 'tvec'.  
%  
  
Ts=1/fs; %calc base sample time  
tvec=Ts.\*(n1:n2); %compute time vector  
cnTs=A.\*cos(pi\*mu\*(tvec).^2+2\*pi\*f1.\*tvec+phi); %compute Chirp samples vector  
end

1. קבע את ואת . התחל בשימוש בתדר דגימה . חשב את עבור אינטרוול זמן של 8 שניות. שרטט את 2000 הדגימות הראשונות של האות הדגום בכדי לראות איך האות נראה בעזרת שימוש בפונקצית stem. השמע את האות הדגום באמצעות שימוש בפונקציה soundsc(cnTs, ). הוסף את השרטוט לדוח והסבר את מה ששמעת וראית.
   * הגרף:
   * הגרף דומה לקוסינוס שמתחילה בפאזה 0 ובאמפליטודה קבועה שמשנה תדר כתלות בזמן (התדר עולה עם ההתקדמות הזמנית).
   * מה ששומעים הוא צליל בתדר שנשמע אחיד, ללא רעשים והפרעות, שמתחיל בתדר נמוך ומתגבר באופן קבוע עד שאני לא מסוגל להבחין בו יותר בסוף 8 השניות.
   * הגרף ואות השמע תואמים את האות הרציף ואת תיאוריית הדגימה והשחזור.
2. חזור על סעיף 2 רק שכעת תדר הדגימה . בשימוש בתיאוריה על אות זה, הסבר בצורה מפורטת את מה ששמעת.
   * 4 השניות הראשונות של הצליל (בקירוב, כי לא התחלנו מתדר 0 אלא מתדר 100 הרץ) נשמעות זהות להשמעה בתדר הדגימה 32 קילו-הרץ כי עבור תדר הדגימה החדש ולפי איך שבנינו את האות, לא קיים בהן תדר שגדול מ-8000 הרץ (בקירוב) ולכן לא נשמע הבדל משמעותי בין הצלילים.
   * עבור האות בזמנים שגדולים מ-4 וקטנים מ-8 שניות, האות המקורי מכיל תדרים שגבוהים מתדר נייקוויסט עבור קצב הדגימה 16 קילו-הרץ ולכן תדרים אלו מתחזים (בצורה לינארית יורדת) לתדרים בין 8000 ל-0 הרץ (בקירוב כי מסיימים ב-100 הרץ)
3. חזור על סעיף 2 עבור , תדר זה מתאר את המצב שבו האות נשלח במערכת הטלפון ללא שימוש במסנן anti-aliasing. מה ניתן יהיה לשמוע כאשר יהיה קיים מסנן זה?
   * אילו היינו מסננים ראשית את האות בתדר נייקוויסט (שהוא 4 קילו-הרץ עבור תדר הדגימה 8 קילו-הרץ) אז היינו שומעים צליל הולך ועולה בתדר בצורה לינארית עד הזמן באות שבו תדר האות המקורי עולה מעל ל-4 קילו-הרץ ומשם הלאה עד סוף 8 השניות היינו שומעים שקט בקירוב.
   * 
4. נסה שוב עבור ערכים שונים של , ו- . בכל אחד מהמקרים הסבר את ששמעת באמצעות שימוש בתיאוריה.
   * עבור הערכים:  , ומשך זמן של 30 שניות, נצפה לפי התיאוריה לשמוע אות בתדר אחיד שעולה לינארית בתדר כתלות בזמן עד תדר נייקוויסט(800 הרץ עבור תדר דגימה זה) ולאחר 15 שניות לשמוע התחזויות שיורדות לינארית עד 100 הרץ לאחר 30 שניות, ואכן מתקבלת התוצאה שצפינו בניסוי.
   * עבור הערכים:  , נצפה לשמוע סדרה מהירה של "הבהובים" בתדר האות המושמע, ואכן זה מה שמתקבל בניסוי.
   * עבור הערכים: , נצפה לשמוע סדרת "הבהובים" בשינוי תדר גדול פי 8 ובאותה תדירות הבהובים, ואכן זה מה שמתקבל.