אוניברסיטת בן גוריון בנגב
המחלקה להנדסת חשמל ומחשבים

המעבדה לעיבוד אותות ותמונות

ניסוי 1 : דגימה ושחזור

36114883

(מעבדת מסלול שנה ד')

תשפ"ה

גרסה : 7.4_2 עדכון אחרון : 11/03/2025

א. מטרת הניסוי:

הקניית ידע מעשי לסטודנט בנושא דגימת אותות ושחזורם.

ב. ספרות עזר:

ספרות העזר לניסוי זה הינה מומלצת בלבד. אין חובת קריאה וניתן להשתמש בכל חומר עזר אחר העוסק בנושאים אלה (סיכומי הרצאות וכדומה).

[1] J.G Proakis and D.G Manolakis, *Digital Signal Processing Principles*, Algorithms and Applications (TK 5102.9 P757 1996)

[2] E.O.Birgham, *The Fast Fourier Transform*,Engelwood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1974. (QA403.B74)

[3] J.G.Proakis and D.G.Manolakis, *Introductiom to Digital Signal Processing*, New-York, macmillan, 1988. (TK5102.5P677)

[4] B. Porat, *A Course in Digital Signal Processing*, New-York, John Wiley & Sons, 1997. (TK5120.5.P66)

לצורך נוחות ניתנת הפנייה לעמודים עיקריים בספרים הקשורים לניסוי זה (ההפניה לעמודים הינה בגדר המלצה בלבד, אין צורך להשתמש בכל הספרים):

נושא	מספר מקור	פרקים	עמודים
קוונטיזציה	[1]	1.4.3-1.4.4, 7.5, 7.7.3, 9.22, 9.23	33-38,556-568,591-596,750-756
	[3]		739-750
	[4]		62-67
תהליך הדגימה והשחזור	[1]		269-278, 399-401
	[3]		272-288
	[4]		94-99 , 50-59

ג. ציוד נדרש:

- סקופ
- מחולל אותות בעל יכולת יצירת אות Function Generator 12MHz Model 8120 , AM
- מסנן, 1952 Universal Filter.
- מגבר.
- כרטיס לדגימה ושחזור National Instruments 6009 בעל רזולוציה של 14bit ושליטה מלאה על תדר דגימה.
- מחשב PC עם כרטיס קול. (הדגימה נעשית ע״י כרטיס ה- NI והשחזור מתבצע בעזרת כרטיס הקול של המחשב)
- מיקרופון.

ד. פונקציות עזר:

פנימיות- load, save, fft, ifft, plot, zeros, floor, real, abs, hist .

מצורפות- quantize.m

ה. שאלות הכנה:

1. תהליך הדגימה

1.1. מהו תהליך הדגימה, ומדוע יש בו צורך? הסבר ותן דוגמא לשימוש בתהליך הדגימה.

1.2. רשום ביטויים להתמרת פורייה ישירה והפוכה עבור אותות בדידים והוכח את הביטויים.

1.3. האם ההתמרה הישירה קיימת לכל אות בדיד? אם לא, מהו התנאי לקיומה?

1.4. רשום ביטוי המקשר בין התמרת פורייה של אות רציף לבין התמרת פורייה של אות דגום\בדיד (DTFT) והוכח את הביטוי.

1.5. תן תיאור איורי לקשר זה.

1.6. מהו הקשר בין תדירות "בדידה" לבין תדירות "רציפה"?

1.7. בעזרת הביטוי בסעיף 1.4 הסבר את תופעת החפיפה הספקטרלית (Aliasing) ואת הסיבה לתופעה.

1.8. האם התופעה רצויה בתהליך הדגימה? אם לא, הסבר מדוע, ותן פתרון לבעיה.

1.9. נתון אות לא חסום בתדר. יש צורך לבצע על האות עיבוד ספרתי. לשם כך צריך לדגום את האות. הצע קריטריון לקביעת נתונים של מסנן Anti-Aliasing וקצב הדגימה.

1.10. נניח שהאות הדגום (בסעיף הקודם) צריך לעבור שחזור. תן ביטוי לשגיאת השחזור במקרה שהאות עבר דרך מסנן Anti-Aliasing לפני הדגימה. תן ביטוי לשגיאת השחזור במקרה שהאות אינו עובר דרך מסנן Anti-Aliasing אך קצב הדגימה נשאר כמו במקרה הקודם.

1.11. ממה נובעות שגיאות השחזור בשני המקרים?

2. תהליך הכימות (Quantization)

2.1. הסבר מהו תהליך הכימות. איך תהליך זה מתקשר לתהליך הדגימה?

2.2. הסבר איך ייצוג המספרים במחשב משפיע על תחום הגדרה של שגיאת הכימות?
התייחס למספר ביטים, לשיטת ייצוג המספרים השליליים (כלול את משלים ל-1, משלים ל-2 וגודל וסימן), ו- Fixed-point לעומת Floating-point.

2.3. צייר אופיינים של אות מכומת כפונקציה של אות מבוא למכמת עבור מקרים של עיגול מספרים (Rounding), קיצוץ מספרים (Truncation) כאשר המספרים מיוצגים בשלוש שיטות:

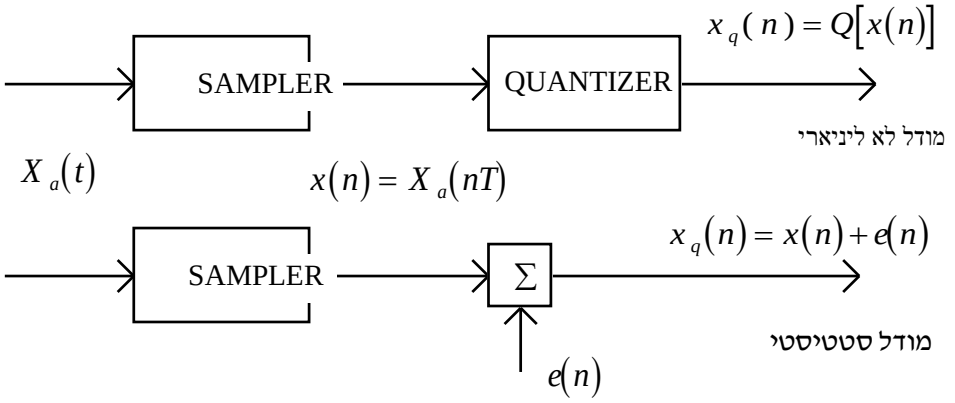
א. שיטת ייצוג המשלים ל - 2.

ב. שיטת ייצוג המשלים ל - 1.

ג. שיטת ייצוג הערך והסימן.

2.4. הסבר איך התקבל כל אופיין.

2.5. תיאור תהליך הדגימה והכימות ניתן על ידי שני מודלים, המתוארים בציור 1.1.



ציור 1.1 : <u>מודלים לתיאור תהליך דגימה</u> <u>וכימות</u>

כאשר $X_a(t)$ הוא האות האנלוגי, $x(n)$ הוא האות הדגום, $x_q(n)$ הוא האות לאחר שגיאת הכימות ושגיאת הכימות מסומנת על ידי $e(n)$.

2.5.1. מהן ההנחות לגבי האותות $x(n), e(n)$ במודל סטטיסטי?

2.5.2. האם הנחות האלה מתקיימות תמיד? אם לא, תן דוגמא לכך שהן לא מתקיימות.

2.5.3. כאשר מתקיימות ההנחות מ-2.5.1, תן ביטוי להתפלגות שגיאת הכימות הנובעת מעיגול וקיצוץ מספר.

2.6. מהו יחס האות לרעש ביציאת ממכמת אחיד, כפונקציה של מספר הסיביות במילה? מהי המסקנה מהביטוי שקבלת?

2.7. מדוע יש לנצל את כל התחום הדינאמי של מערכת הדגימה?

מה יקרה אם $|V_{in\,\mathrm{Max}}| > |V_{A/D\ Max}|$?

מה יקרה אם $|V_{in\,\mathrm{Max}}| >> |V_{A/D\ Max}|$?

מה יקרה אם $|V_{in\,\mathrm{Max}}| < |V_{A/D\ Max}|$?

מה יקרה אם $|V_{in\,\mathrm{Max}}| << |V_{A/D\ Max}|$?

$V_{in\,\mathrm{Max}}$ אמפליטודה מכסימלית של אות הכניסה.

$V_{A/D\,\mathrm{Max}}$ קצה תחום דינאמי של הדוגם.

3. <u>שחזור אותות</u>

3.1. תן ביטוי בין x(nT) לבין $X_a(t)$ (נוסחת Shannon) והוכח את ביטוי זה.

וודא שאכן מתקיים $X_a(t)\Big|_{t=nT} = x(n)$.

3.2. האם הקשר $X_a(t)\Big|_{t=nT} = x(n)$ מתקיים רק עבור $x(t)$ חסום סרט? נמק.

3.3. האם המשחזר שהתקבל בנוסחת Shannon ניתן למימוש? נמק בהרחבה.

3.4. תן דוגמא למשחזר שמתגבר על הבעיות שהצגת בסעיף הקודם.

3.5. **מעשית**, האם תמיד ניתן לשחזר את $X_a(t)$ מתוך x(nT) ? נמק.

<u>ו. מהלך הניסוי:</u>

הערה : על הסטודנט להחליט בעצמו לגבי בחירת פלטים או דפי תוצאות, למטרת הסקת מסקנות בדו"ח מסכם. **שים לב:** מספר הפלטים המצורפים לא מעידים על טיב הדו"ח.
<u>במסקנותיך אנא התייחס לתיאוריה שהוצגה בדו"ח המכין!</u>

1. <u>חוק דגימה, שגיאת חפיפה ספקטרלית (Aliasing)</u>

1.1. חבר את מערכת הדגימה, כפי שמתואר בציור 1.2.

ציור 1.2 : <u>מערכת הדגימה</u>

1.2. בצע דגימה של אות גל ריבועי פעמיים, פעם בלי מסנן Anti-Aliasing ופעם שנייה עם מסנן Anti-Aliasing . מאפייני הגל הריבועי ומערכת הדגימה :

- תדירות האות. $f_0 = 250\ Hz$
- אמפליטודת האות - קבע לניצול מקסימלי של תחום דינמי.
- תדירות הדגימה. $f_s = 3200\ Hz$
- משך הדגימה T = 1Sec.

1.3. חשב התמרת פורייה בדידה (בעזרת FFT) של האותות הדגומים.

1.4. הסבר את התוצאה שהתקבלה. השווה אותה לתיאוריה.

1.5. בצע ריפוד באפסים במישור התדר לשני האותות הדגומים. הסבר באיזה אורך בוצע הריפוד ומדוע. הסבר היכן מיקמת את האפסים ומדוע בחרת במיקום זה. השווה במישור הזמן את האותות המרופדים באפסים לאותות המקוריים מסעיף 1.2

הערה: בביצוע IFFT של האות המרופד באפסים יתכן ערך מדומה קטן ביותר, יש לקחת את החלק הממשי בלבד.

2. תהליך הכימות (Quantization).

בסעיף זה נבדוק את התכונות הסטטיסטיות של שגיאת הכימות. נניח כי שגיאת הדוגם (בעל רזולוציה 12bit) היא נמוכה מאוד והאות המתקבל ממנו הוא אות ללא שגיאת כימות. נדמה דגימה בעזרת כרטיס בעל רזולוציה נמוכה יותר, ולפיכך בכל שגיאת כימות, בעזרת הפונקציה quantize.m **(שימו לב שהפונקציה הנתונה מניחה אמפליטודה מנורמלת ל-1 וולט)**

2.1. בצע דגימה של אות משולש בתנאים הבאים:

- אמפליטודת האות A_0- לפי קביעת מבצע הניסוי.
- תדר מחזור $f_0 = 250\ Hz$
- אורך האות $L_0 \geq 3000$ samples
- יתר התנאים יקבעו על ידי המשתמש.

2.2. חקור תכונות סטטיסטיות של האות ושל שגיאת הכימות כפונקציה של המשתנים הבאים (השתמש בפקודה HISTOGRAM, שים לב לבחירה של מספר הבינים (bins), כך שיתקבל גרף מספיק ברור)

- רזולוציה של כרטיס דוגם מדומה.
- ניצול התחום הדינמי של הדוגם.

2.3. השווה את התוצאות שהתקבלו לתיאוריה שהוצגה בשאלות ההכנה.

3. שחזור האותות

3.1. דגום אות סינוסי בתנאי דגימה אופטימליים. קבע את מאפייני האות ,הסבר את בחירתך.

3.2. האם השתמשת במסנן Anti-Aliasing? הסבר?

3.3. חבר את המערכת השחזור כפי שמתואר בציור 1.3.

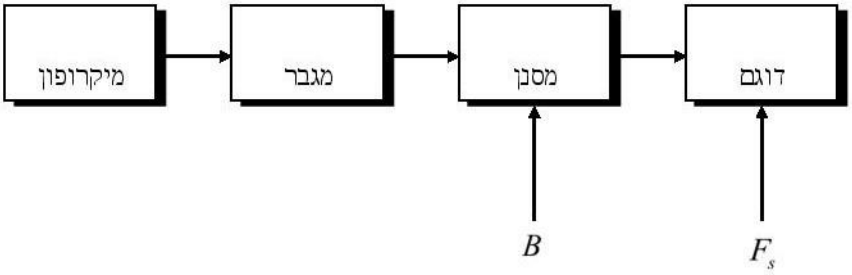
ציור 1.3: מערכת שחזור עם מסנן

3.4. בצע שחזור של הדוגמא שיצרת בסעיף 3.1 השווה את האות המשוחזר עם האות המקורי של המחולל. הצג את האותות המופיעים בסקופ.

3.5. כעת, הגדל את תדר האות הסינוסי (מבלי לשנות את תדר הדגימה). הצג את האות המקורי והאות המשוחזר המופיעים בסקופ. השווה לסעיף 3.4, מה התופעה שגורמת להבדלים אלו?

4. <u>דגימת אות דיבור ושחזורו</u>

בסעיף זה נדגום אות דיבור ונשחזר אותו בתנאים אופטימליים. בשלב שני נדמה איכות של קו טלפון.



ציור 1.5 : <u>מערכת הדגימה</u>

4.1. בצע דגימה של צירוף מילים "אפוקליפסה עכשיו", קבע את תנאי הדגימה, הסבר את בחירתך.

4.2. בצע שיערוך ספקטרום של האות, כדי לראות הרכב ספקטרלי של אות דיבור (Long Term PSD). [1]

4.3. מהי מסקנתך מתוך התוצאה שהתקבלה?

4.4. בצע שחזור של אות הדיבור הדגום בתנאים אופטימליים, השווה בין האות המשוחזר לאות המקורי הן בעזרת הסקופ והן באמצעות רמקול.

4.5. בצע שחזור של האות הדגום בדימוי רזולוציות שונות של כרטיס דוגם.

4.6. השווה את התוצאות בסעיפים 4.5 ו 4.4 . והסבר את השפעת הפרמטרים על איכות הדיבור המשוחזר. בתשובתך התייחס למאפיינים הבאים :

- מובנות הדיבור.
- "מתכתיות" הצליל.
- שינוי בגוון הצליל- עיוות בתדרים מסויימים.

4.7. הנח כי האות הנתון (במוצא המיקרופון) הוא אות שעבר קו טלפון ולכן רוחב הסרט שלו הוגבל ל- 3.2khz. תכנן את מערכת הדגימה (מסנן Anti-Aliasing, תדר דגימה) והשחזור המתאימים. בניסוי זה דמה כרטיס דגימה בעל רזולוציה של 8bit. בצע שחזור והשווה לתוצאות השחזור הקודמות (התייחס למאפיינים מסעיף 4.6). **שים לב: בסעיף זה יש לבצע דגימה פיזית מחדש בהתאם לנדרש (ולא להסתפק בסימולציה).**

<u>ו. דו"ח מסכם - הערכות ומסקנות</u>

1. ערוך את התוצאות בצורה מסודרת. תן הסבר, איך התקבלו התוצאות ומהן מסקנותיך, **תוך התייחסות לתיאוריה שהוצגה בדו"ח המכין**.
2. שלב את התשובות על שאלות אשר בגוף מהלך הניסוי, בתוך הדו"ח המסכם.

ז. נספח: פונקציות עזר:

```
function [out]=quantize(in, R_bits, S_bits);
% Input:
%   in : sampled vector.
%   R_bits : Number of Bits in sampling card.
% output :
%   S_bits : Number of  bits in simulated sampling card.

% Checking new simulated card.
  if (R_bits<S_bits | S_bits<1),
   error(' Wrong simulated sampling card no. of bits')
  end

% Checking dynamic range. Max value is 2^(R_bits-1).
  M_val = max( abs(in) );
  if M_val>(2^(R_bits-1)) ,
    error('Error in sampled data range')
  end

% Changing data to new simulated sampling card.
  if (S_bits==R_bits)
    out=in;
  else
    out = (floor( in*2^( S_bits - 1 )) + 0.5 )/( 2^( S_bits -
1 ));
  end

end
```