

## מעבדה מתקדמת לעיבוד תמונות 20327 - סמסטר ב תשפ"א 2021

### ניסוי 5 - מעבדה מס' 10-11

**חידושים:** כדי להבין את המשמעות של תקינה למקודד ומפענח מיצרנים שונים, הניסוי ידרוש עבודה בין הצוותים, ולא רק בתוך הצוותים, לכן חובה לפעול לפי ההנחיות: **יש להקפיד על עבודה אישית – אסורה העברת קוד בין הצוותים לפני ובמהלך המעבדה!!!** בסוף התרגיל נשווה את הגישות השונות של הצוותים.

#### 1. מטרות הניסוי – דחיסת תמונות

- ✓ חישוב אנטרופיה של תמונה
- ✓ דחיסה משמרת (Lossless) של תמונות
  - קידוד הפמן
  - קידוד RLE
- ✓ דחיסה משמרת: גישת החיזוי
  - דחיסה ע"י DPCM
- ✓ דחיסה משמרת: גישת ההתמרה
  - התמרת DCT הדו ממדית, תכונותיה;
  - דחיסה ע"י קוונטיזציה מקדמי DCT; (אופציה: שילוב עם RLE)
- ✓ **סקירת JPEG (אופציה)**
- ✓ (\*) אישור דו"ח מכין ומתווה הפרוייקטון (בשבוע 10)

#### 2. הכנה וקוד חימום לקראת המפגש הראשון

לצורך ביצוע דחיסה ופענוח של אותות (למשל קובץ jpg, המפענח מקבל קובץ שהוכן על ידי המקודד (למשל, במקרה מעשי המצלמה היא מקודד, והמחשב המציג – המפענח). עליך להכין \ להשתמש בקטע קוד שיכתוב קובץ לדיסק, במבנה נתון, ויהיה בשימוש במקודד, וקטע קוד נוסף, שיהיה בשימוש המפענח, ויקרא קובץ מהדיסק, לצורך פענוח, כמפורט בהמשך.

**1. קריאת חומר רקע:** מצאו דוגמאות למבנה קובץ data או מדיה סטנדרטי, מבחינת header (כותרת המכילה את תיאור התוכן והמבנה \ גודל של המדיה, ו-body המכיל את התוכן עצמו. ניתן להתייחס, למשל, למבנה קבצים \ פורמט מסוג (BMP<sup>12</sup>, xml, json, csv). יש לרשום את מבנה הקובץ שבחרתם בצירוף הפנייה וקישור למקור בו השתמשתם.

2. נתון הקובץ `encode_decode_starter_code.m`, שיהיה בשימושכם לדחיסות שונות, למשל RLE בינארי, או DPCM. **יש להבין את הקוד.** שימו לב שבקוד נעשה שימוש ב-structures. הערה: שמירת קובץ `mat` הנתונה (`save`) שומרת תוכן בינארי בקובץ. בשלב ראשון בבניית המקודד והמפענח שלכם, התחילו בשימוש בקוד הנתון. לאחר שתצליחו לקודד ולפענח ללא שגיאות, עליכם להחליף את פקודת שמירת התוכן כקובץ בינארי (`save`), לשמירה כקובץ טקסט, בפורמט ASCII, כך שיהיה קריא על ידי עורך טקסט סטנדרטי כמו notepad. יש להכיר את הנושא לפני המעבדה. בסעיף הבא תייצרו תכנית בדיקה לאימות קוד ההמרה מ-struct לטקסט וחזרה. לכותבים בפיתון, מותר להשתמש בספריית pandas. ראו גם <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/writestruct.html>

<sup>1</sup> <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/winforms/advanced/types-of-bitmaps>

<sup>2</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/BMP\\_file\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/BMP_file_format)

3. הכינו תכנית בדיקה לייצור ופענוח הקובץ (המרה מ-structure לטקסט וחזרה). וודאו על ידי שימוש בעורך (notepad / notepad++) את תוכן הקובץ שייצרתם. (מגירת מטלב 2020b ניתן להשתמש בפקודות מטלב readstruct , writestruct). אחרת, ניתן להשתמש ב `writetable(struct2table(structName), 'fileName.csv')`.
4. ייצרו תמונה בינארית מלאכותית בגודל  $N \times N$  ומספר פסים  $M$  (פרמטרים),  $N=200$ , כאשר הפסים ברוחב אחיד (למעט הריבוע במרכז). ראו גם סעיף 3.3. דוגמה לתמונה:



### 3. רקע תיאורטי והדגמות

#### 3.1 חישוב אנטרופיה של תמונה

פקודות מטלב: (entropy)

סקירה:

שימוש:

$$H = \text{entropy}(I);$$

#### חישוב אנטרופיה של תמונה

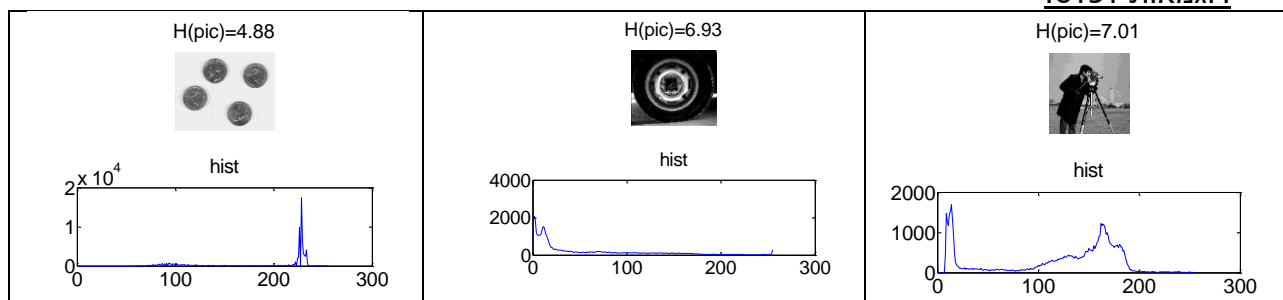
$$H = - \sum_{j=1}^J P(a_j) \log_2 (P(a_j))$$

הגודל  $H$  מכונה אי-הוודאות או האנטרופיה של התמונה, כאשר  $J$  הוא מספר רמות האפור בתמונה. ניתן כמובן לחשב את ההסתברות של כל רמה תוך שימוש בהיסטוגרמה המנורמלת. הגודל הנמדד הוא למעשה אי-ההומוגניות של התמונה, או מידת הפיזור בהיסטוגרמה.

#### 3.1.1 הדגמת חישוב אנטרופיה ללא שימוש בפקודת entropy

- כתוב פונקציה שתבצע חישוב אנטרופיה ללא שימוש בפקודת entropy
- הפונקציה תקבל כקלט תמונה, ותציג כפלט את התמונה, ההיסטוגרמה שלה ואת האנטרופיה בכותרת (הוסף ספרה משמעותית רביעית ע"י שימוש ב- `num2str(H,4)`).
- ודא שהתוצאה זהה לפקודת entropy של מטלב.
- הרץ על 3 תמונות ברמות אפור (מודגם, ויש לצרף לדוח המסכם)
- הרץ על 3 תמונות בינאריות (לדוח המסכם)

דוגמאות לפלט:



#### שאלות לדוח המסכם:

- בנוסף לנ"ל יש להציג את נכונות הפונקציה שכתבת על ידי טבלה השוואתית.
- הסבר את ציפיותיך לתוצאת האנטרופיה בשני סוגי התמונות, והתייחס להיסטוגרמה.

## 3.2 קידוד הפמן (Huffman Coding) של תמונה

פקודות מטלב מתוך `communications system toolbox`:  
`(huffmanenco, huffmandict, huffmandeco)`

```
[dict,avglen] = huffmandict(symbols,p)
comp = huffmanenco(sig,dict)
dsig = huffmandeco(comp,dict)
```

`dsig = huffmandeco(comp,dict)` decodes the numeric Huffman code vector `comp` using the code dictionary `dict`. The argument `dict` is an N-by-2 cell array, where N is the number of distinct possible symbols in the original signal that was encoded as `comp`. The first column of `dict` represents the distinct symbols and the second column represents the corresponding codewords. Each codeword is represented as a numeric row vector, and no codeword in `dict` is allowed to be the prefix of any other codeword in `dict`. You can generate `dict` using the `huffmandict` function and `comp` using the `huffmanenco` function. If all signal values in `dict` are numeric, `dsig` is a vector; if any signal value in `dict` is alphabetical, `dsig` is a one-dimensional cell array.

### רקע:

קידוד הפמן מאפשר לייצג באופן חסכוני את רמות הבהירות. השונות, על פי מידת שכיחותן, תוך היותן קוד קידומת - (prefix code) המאלץ הפרדה בין מילות הקוד (codewords), כך שאין מלת קוד חוקית שהיא קידומת של מלת קוד אחרת. דוגמא לקוד (פירוט בעמוד הבא), (יודגם גם במטלב)

| מס' סידורי          | i                                           | 1         | 2   | 3           | 4       | 5           | 6     |
|---------------------|---------------------------------------------|-----------|-----|-------------|---------|-------------|-------|
| תו (סימבול)         | <b>Symbol(i)</b>                            | 1         | 2   | 3           | 4       | 5           | 6     |
| ההסתברות להופעת התו | <b>P(i)</b><br><b>= prob(S<sub>i</sub>)</b> | 0.1       | 0.4 | 0.06        | 0.1     | 0.04        | 0.3   |
| מלת הקוד לתו        | <b>C(i)</b>                                 | [0,0,0,0] | [1] | [0,0,0,1,0] | [0,0,1] | [0,0,0,1,1] | [0,1] |
| אורך מלת הקוד       | <b>L(i)</b>                                 | 4         | 1   | 5           | 3       | 5           | 2     |

הערה: במימושים שונים יכולים להיות מילונים שונים, אך כולם חייבים להיות בעלי  $L_{avg}$  זהה!!! (יודגם)

$$L_{avg} = \sum_{i=1}^6 L_i \cdot P_i = 2.2 \left[ \frac{\text{bits}}{\text{symbol}} \right] \quad \text{במקרה שבדוגמה:}$$

בניית המילון – בניית העץ. בכל שלב מאחדים את זוג הקבוצות \ סימבולים בעלי ההסתברות הנמוכה ביותר:

| Original source |             | Source reduction |     |     |     |
|-----------------|-------------|------------------|-----|-----|-----|
| Symbol          | Probability | 1                | 2   | 3   | 4   |
| $a_2$           | 0.4         | 0.4              | 0.4 | 0.4 | 0.6 |
| $a_6$           | 0.3         | 0.3              | 0.3 | 0.3 | 0.4 |
| $a_1$           | 0.1         | 0.1              | 0.2 | 0.3 |     |
| $a_4$           | 0.1         | 0.1              | 0.1 |     |     |
| $a_3$           | 0.06        |                  |     |     |     |
| $a_5$           | 0.04        |                  |     |     |     |

בניית המילון – הקצאת מילות הקוד: (בכיוון ההפוך)

| Original source |       |       | Source reduction |      |     |     |
|-----------------|-------|-------|------------------|------|-----|-----|
| Sym.            | Prob. | Code  | 1                | 2    | 3   | 4   |
| $a_2$           | 0.4   | 1     | 0.4              | 1    | 0.4 | 1   |
| $a_6$           | 0.3   | 00    | 0.3              | 00   | 0.3 | 00  |
| $a_1$           | 0.1   | 011   | 0.1              | 011  | 0.2 | 010 |
| $a_4$           | 0.1   | 0100  | 0.1              | 0100 | 0.1 | 011 |
| $a_3$           | 0.06  | 01010 | 0.1              | 0101 |     |     |
| $a_5$           | 0.04  | 01011 |                  |      |     |     |

לצורך הקידוד מחליפים כל תו מאות המקור ברצף הביטים של מלת הקוד (שימוש בטבלה).  
לפענוח לוקחים בכל פעם ביט נוסף מהאות הדחוס, ומשווים למילות הקוד במילון עד להתאמה.

### 3.2.1. הדגמת קידוד הפמן עם שימוש בפקודות מטלב על מקור רגיל ועל תמונה

- בצע קידוד הפמן למקור שבדוגמה. הפעולות הנדרשות:
- א. בנה את טבלת השכיחויות (סימבולים)  $S(i)$ , מול הסתברותם  $P(i)$ , מה האורך הממוצע של כל סימבול באות המקור? (תשובה:  $\lceil \log_2(\text{length}(S)) \rceil$ )
  - ב. בנה את המילון  $C(i)$ , והצג את האורך הממוצע לאחר הדחיסה  $L_{avg}$ . השווה לאנטרופיה  $H$ , ומצא את ההפרש. וודא כי מתקיים  $H \leq L_{avg} < H + 1$
  - ג. בנה סדרה אקראית עם אותה סטטיסטיקה של המקור, באורך של 100 סימבולים.
  - ד. דחוס אותה, מצא את יחס הדחיסה **CR** בפועל
  - ה. בצע פענוח וודא שאין שגיאות פענוח.
  - ו. חזור על הסעיפים הקודמים, הפעם על תמונה. השתמש בתמונת tire.tif.

#### הנחיות למימוש:

- לבניית המקור מסעיף ג' ניתן להשתמש בפקודת randsrc.
- שים לב שהמקודד יודע לקבל וקטורים חד ממדיים בלבד, לכן בסעיף ו' יש לבצע סידור לקסיקוגרפי לתמונה, ובסיום הפענוח reshape.

### 3.2.2. ניסוי עצמי - קידוד הפמן (\*)

#### שאלות לדוח המכין:

1. רשום אלגוריתם לבניית המילון ללא שימוש בפקודת huffmundict.

#### ביצוע הניסוי

בצע קידוד הפמן לפי ההדגמה, אך הפעם לפי האלגוריתם משאלת ההכנה ללא שימוש בפקודת huffmundict. (החל מתשפ"א: אין להשתמש ב-huffenco ו-huffdeco).

#### שאלות לדוח המסכם:

1. הסבר והדגם את עבודתך והסק מסקנות מהניסוי.

### 3.3. (\*) דחיסה משמרת: RLE (לתמונה בינארית)

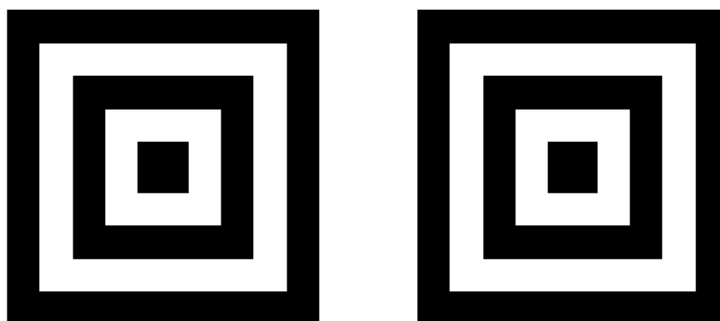
#### 3.3.1. הדגמה



- (מקוד החימום) ייצר תמונה בינארית מלאכותית בגודל 200x200 שנראית כך:
- בצע דחיסה לתמונה הנ"ל בהנחה שממדיה ידועים למקלט, ושהביט הראשון תמיד שחור. אות המוצא יהיה וקטור אורכים שישודר למקלט
- שחזר את התמונה מתוך הווקטור הדחוס.
- חשב את גודל תמונת המקור בביטים (1 ביט לפיקסל = 1[bpp])
- חשב את גודל תמונת התוצאה בביטים (תלוי באורך המקסימלי האפשרי \ האמיתי) (בדוגמה: 13[bpp])
- חשב את יחס הדחיסה CR.

#### דוגמאות לפלט:

original image; numbits=40000\*1[bpp]    reconstructed image; numbits=761\*13[bpp]; CR=4.04



#### 3.3.2. ניסוי עצמי

##### שאלות לדוח המכין:

- עבור דוח RLE, נניח כי קיים הסכם בין המשדר למקלט עם הנתונים הבאים:
- גודל התמונה המקורית  $n \times m$ , (מועבר ב-header)
  - את התמונה מסדרים בסידור לקסיקוגרפי לפי השורות, כאשר האיבר הראשון הוא הפיקסל בפניה השמאלית העליונה (מיקום 1,1 במטלב)
  - המשדר והמקלט מניחים תמיד כי הפיקסל המשודר הראשון הוא שחור.
  - גודל כל איבר (מספר הביטים לכל ערך) הוא המינימלי האפשרי.
- חשב ידנית את אות המוצא של דוח RLE לתמונה שמשמאל, שממדיה 50x50 פיקסלים, ממדי הריבוע הלבן הפנימי 22x22 פיקסלים, ורוחב הפס השחור 14 פיקסלים.
  - אם (בתמונה אחרת) הפיקסל הראשון לשידור לבן, אך ההסכם בין המשדר למקלט הוא כי הביט הראשון שחור, כיצד נוכל לשדר אותו למקלט תחת ההנחות הנ"ל?
  - אם רוצים להגביל את גודל כל תו באות המשודר (המייצג אורך) ל-8 ביטים בלבד (בייט יחיד), כיצד נוכל להעביר אורך גדול מ-255? הצע שתי שיטות והשווה ביניהן.

#### מהלך הניסוי:

- בצע דחיסה לתמונה מקוד החימום, תוך הגבלת כל תו ל-8 ביט בלבד (int8), ושחזר אותה. מה יחס הדחיסה CR?
- האם CR השתפר או התקלקל? האם התוצאה תואמת את ציפיותיך?
- בצע דחיסה לתמונה הבינארית ('tire.tif' > 127), ושחזר אותה. מה יחס הדחיסה? בהעברת קובץ דחוס בלבד, ללא העברת קוד בין הצוותים, יש לשחזר תמונה דחוסה שיוצרה על ידי צוות אחר, בהתבסס על ההסכם הנ"ל בין המשדר למקלט בלבד.

#### שאלות לדוח המסכם:

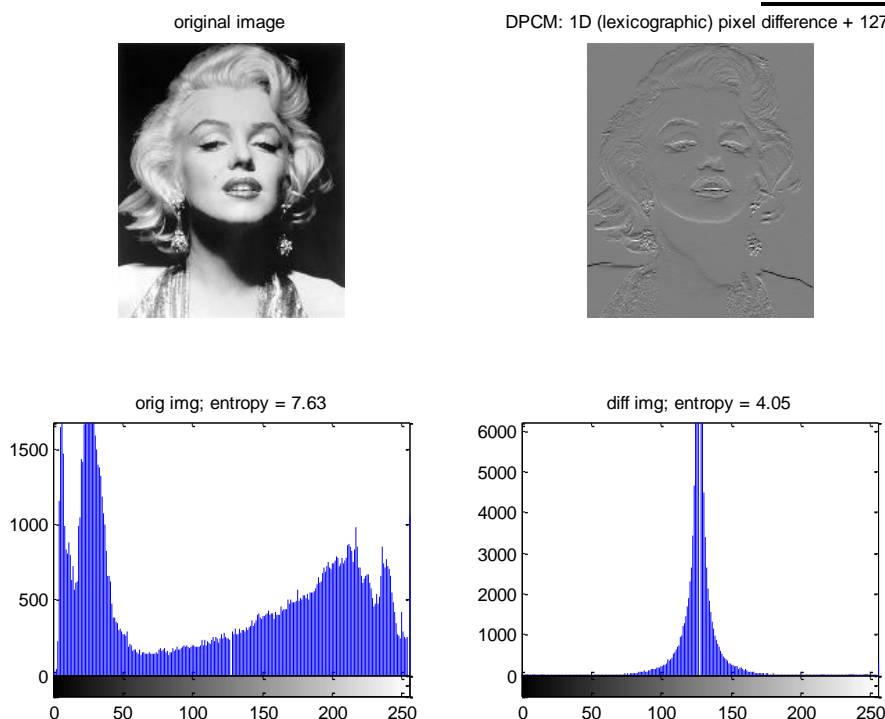
- סכם את הניסוי והצג את תוצאותיך בצורה בהירה.
- שאלת רשות: בצע כימוי אחיד ל-4 רמות לתמונת lena, וקודד אותה RLE. מה יחס הדחיסה? (מדוע ביצענו כימוי?)

### 3.4. (\*)דחיסה מבוססת חיזוי DPCM.

#### 3.4.1. הדגמה: DPCM חד ממדי

- הפוך תמונה לסידור לקסיקוגרפי.
- בצע DPCM, כאשר האיבר הראשון יהיה הפיקסל הראשון המקורי.
- חשב האנטרופיה בשני המקרים.
- שחזר את התמונה מהאות הדחוס (מודגם). חשב  $\text{abs}(\text{max error})$  ו- $\text{sqrt}(\text{MSE})$  בין תמונת המקור למשוחזרת (**לדוח המסכם**).
- וודא התייחסות לגלישה (טווח גדול מ-256 רמות; לא מודגם אך ידון במעבדה)

#### דוגמה לפלט:



#### 3.4.2. ניסוי עצמי

- חזור על הניסוי החד ממדי, כפי שראינו בהדגמה, כלומר בצע דחיסה לתמונה (ללא עיוות) ע"י:  $d(i) = f(i) - f(i-1); \quad (i=1:m \cdot n-1)$ , ושחזר אותה
  - חזור על הסעיף הקודם אך הפעם עם חיזוי דו ממדי באופן הבא:
    - הנח ממדי תמונה ידועים. העבר ערך פיקסל ראשון  $(1,1)$ .
    - דחוס שורה ראשונה ע"י 1D-DPCM כמו בסעיף הקודם ובהדגמה.
    - את שאר השורות דחוס ע"י
$$d(i, j) = f(i, j) - 0.5 \cdot (f(i-1, j) + f(i, j-1)); \quad (i=1:m-1; \quad j=1:n-1)$$
  - בדוק בשני המקרים את האנטרופיה של קובץ התוצאה, וחשב את יחס הדחיסה בפועל בכל המקרים.
  - תרגיל רשות:** בצע דחיסת DPCM עם עיוות. העיוות נוצר ע"י קוונטיזר 4 רמות, בעל ערכי רמות החלטה של 8, 4, 0, -4, -8. רמות הייצוג באמצע כל קטע בהתאמה. (**שאלות לדוח המסכם**)
1. סכם את הניסוי והצג את תוצאותיך בצורה בהירה.

### 3.5. דחיסה (עם עיוות) מבוססת התמרת DCT

פקודות מטלב הרלוונטיות הן dct2, idct2. שימוש זהה ל-fft2, ifft2.

#### 3.5.1. ניסוי עצמי: דחיסה (עם עיוות) מבוססת התמרת DCT

##### שאלות לדוח המכין:

1. מהו יחס הדחיסה בכל אחד מהמקרים בניסוי המתואר בהמשך? אם אין ברשותך את כל הנתונים, הנח הנחות, רשום אותן עם נימוק \ הסבר וציון מקור, והתבסס עליהן בתשובתך.
2. הכן תכנית לביצוע הניסוי אך הפעם ע"י התמרה בבולקים של  $8 \times 8$  כמו בדחיסת JPEG.
3. (\*) הכן תכנית לדחיסת תוצאת ההדגמה ע"י קידוד RLE ומצא את יחס הדחיסה CR.

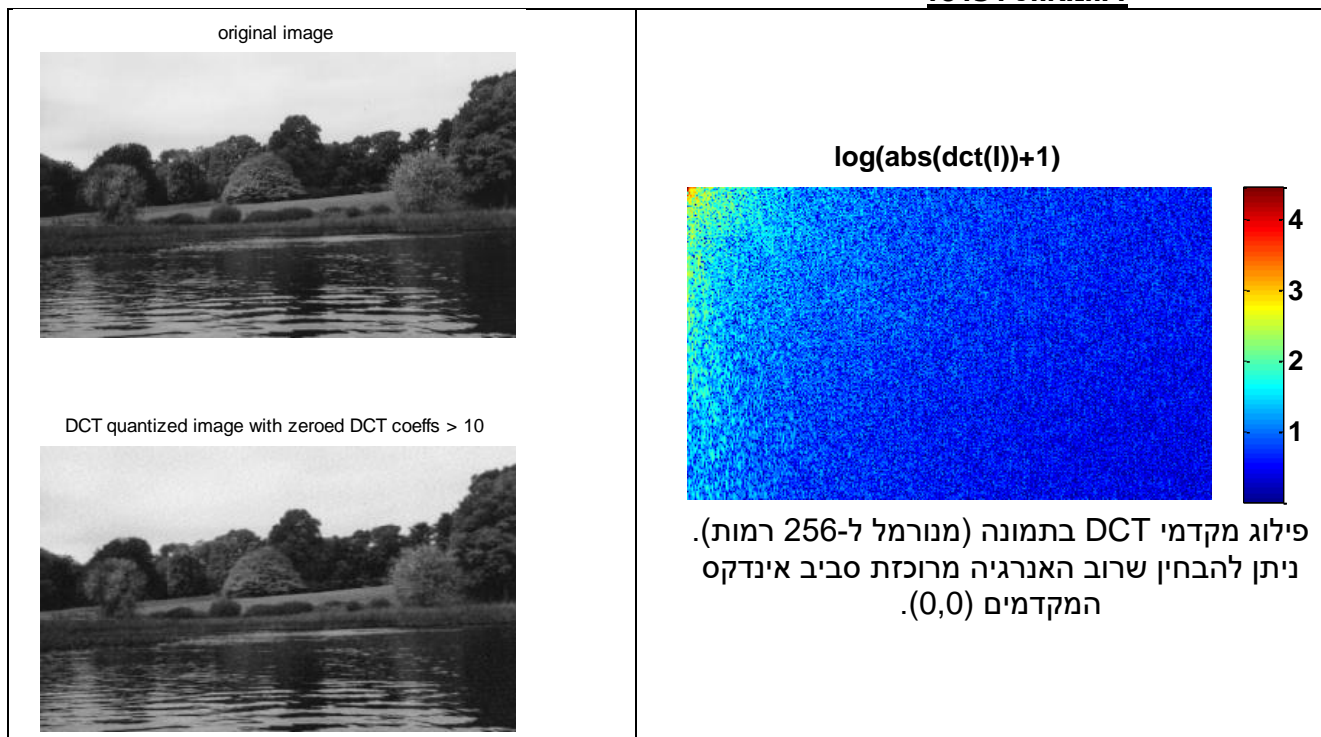
##### מהלך הניסוי:

- א. בצע התמרת DCT לתמונה ושחזר אותה ללא שינוי במקדמים. האם יש עיוות? חשב את MSE.
- ב. חזור על הסעיף הקודם תוך איפוס כל הערכים הקטנים מערך סף  $Tr$  (בהדגמה למטה: בפלט הראשון  $Tr=10$ , בפלט השני ראה רישום בכל תת תמונה). חשב את  $SNR \setminus MSE$ .
- ג. חזור על סעיף ב עבור הערכים שרחוקים מהראשית ברדיוס מסוים  $T$  (בדוק על 3 רדיוסים והצג איזה אחוז מהמקדמים אופס). חשב את  $SNR \setminus MSE$ .
- ד. ממש את שאלת ההכנה: דחיסת תוצאת ההדגמה ע"י קידוד RLE ומצא את יחס הדחיסה CR.

##### הנחייה למימוש:

כזכור נקודות בתוך מעגל בעל רדיוס  $T$  מקיימות  $x^2 + y^2 < T^2$ .

##### דוגמאות לפלט:





original image, max |DCT coef| = 2.98e+04



DCT quantized image with 45% of DCT coeffs (< 5)



DCT quantized image with 23% of DCT coeffs (< 10)



DCT quantized image with 11% of DCT coeffs (< 20)



DCT quantized image with 4.6% of DCT coeffs (< 40)



DCT quantized image with 1.8% of DCT coeffs (< 80)



reconstruction from original image, no quant



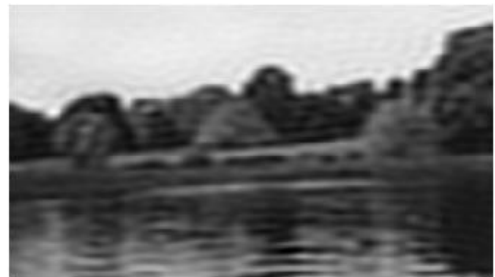
DCT quantized image,  $T^2=30\%$



DCT quantized image,  $T^2=13\%$



DCT quantized image,  $T^2=3.4\%$



### שאלות לדוח המסכם:

1. הבחן והתייחס להבדלים בקוונטיזציה של המקדמים הן מבחינת יחס הדחיסה והן מבחינת איכות התמונה. נתח וסכם את התוצאות.
2. נתח וסכם את השיפור ביחס הדחיסה כאשר משולבת דחיסת RLE על תוצאת קוונטיזציית המקדמים.
3. התייחס להבדלים בין DCT על תמונה שלמה לבין DCT על בלוק של  $8 \times 8$ . מהו התדר הנמוך ביותר שניתן להבחנה? האם מבחינים ב"פיקסליזציה"? כיצד ניתן להתגבר על כך (רמז: ראה תקן JPEG).  
הערה: ניתן להציג אזור מוגדל מתוך התמונה להבהרות. שמור אזורים אלו ע"י *imwrite* וצורף לדו"ח.