

מעבדה מתקדמת לעיבוד תמונות 20327 - סמסטר ב' תשפ"א 2020-2021

ניסוי מס' 1: המחשת HVS, פעולות בסיסיות, מרחביות ורעש בתמונות

מטרות ניסוי מס' 1 (מעבדה מס 2-3):

- הבנת משמעות המושגים בהירות, ניגודיות.
- HVS - מערכת הראייה האנושית: JND, הדגשת מעברים, פונקציית התמסורת של העין.
- עיבוד במרחב התמונה – קונבולוציה וסינון, שיפורי תמונה.
- רעש בתמונות, MSE בתמונות.
- שימוש במסננים שונים לניקוי רעש בתמונות.

כל ההוראות רשומות בלשון זכר כדי למנוע סרבול, אך מיועדות כמובן לכל המינים.

מבנה מסמך זה:

מסמך זה מאורגן באופן הבא: **פרק 1, מכיל משימות "חימום" לשני המפגשים של הניסוי.** החימום מתבסס בעיקר על ידע קודם (מעבדות קודמות בקורס זה, או ידע במטלב שאינו עיבוד תמונה), מטרתו היא ריענון לחומר קודם שיורחב במעבדה, וכן הכנת קוד מטלב שימשם בסיס לקוד שייכתב בכיתה במהלך הניסוי. **פרק 2 מכסה את ביצוע הניסוי בשני המפגשים.** במהלך הפרק משולבות שאלות למחשבה ולמענה לדוח המסכם. בנוסף, בפרק זה קיים חומר שייסקר (בלבד) במהלך המפגש הראשון, לצורך הדו"ח המכין למפגש 2, וביצוע שאר הניסוי במפגש השני. **פרק 3 הוא הבסיס לדוח המכין –** שיוכן לקראת המפגש השני של המעבדה. **פרק 4 מכסה את ביצוע הניסוי במפגש השני,** על ידי הפנייה לחלקים המתאימים בפרק 2. **פרק 5 כולל שאלות נוספות לדוח המסכם,** מעבר לשאלות בסעיפי הביצוע. **פרק 6 הוא נספח,** הכולל תוצאות נוספות לדוגמה, לסעיפים נבחרים מהניסוי. בסוף המסמך מופיע תוכן עניינים לתדריך.

0. הנחיות והבהרות כלליות (לא יופיעו בהנחיות הניסויים הבאים, אך תקפות לכל הקורס)

- **לפני המפגש הראשון בכל ניסוי, יש לקרוא את המסמך כולו, על כל פרקיו ונספחיו, כולל את מטלות המפגש הראשון והשני, את שאלות ההכנה למפגש השני ואת שאלות הסיכום.** זאת כדי שתוכלו לקבל הבהרות במפגש הראשון לגבי אי בהירויות בהוראות או בחומר.
- **יש להביא עמכם לכל המפגשים את קוד החימום, ואת כל הקוד שהצטבר \ שכתבתם בניסויים קודמים.** תוכן המעבדות מניח שהפנמתם את המעבדות הקודמות ומבוסס עליהן.
- **למפגש השני יש להביא את הדוח המכין, בנוסף לקוד החימום, ולקוד שנכתב במפגש הראשון.**
- **הדו"ח המסכם של כל ניסוי, שיוגש בסיום שני המפגשים, יכלול את כל פרקי וסעיפי הניסוי. כולל: החימום, הדו"ח המכין, ביצוע הניסויים וכל השאלות הכלולות במסמך. כן יכלול השלמה עצמית של סעיפים שלא בוצעו בפועל במהלך מפגשי המעבדה.**
- **כדי להתרגל לכתוב דוחות ראויים לשימוש בתעשייה ובאקדמיה, הנכם מתבקשים לעבוד לפי ההנחיות. בין השאר: הדוח יעמוד בפני עצמו, ולא ידרוש את קריאת הנחיות הניסוי כדי להבין מה בוצע, ומה הבנתם. הוא יכיל את הרקע, מהלך הניסוי, התוצאות ומה תובנותיכם ומסקנותיכם. דוגמה לצורת הדוח המסכם הנדרשת עבור סעיף אחד מצורפת בהמשך. כדי להבין מה בוצע, תמונות המוצא הרלוונטיות יצורפו לדוח, כך שלא תידרש הרצה של הקוד שלכם כדי לראות תוצאות (הרגל חשוב!). עם זאת, קטעי הקוד המצורפים יאפשרו גם שחזור של התוצאות שקיבלתם על ידי הרצה. פירוט נוסף יינתן בכיתה במהלך הניסוי הראשון.**

1. משימות "חימום" (הכנה לניסוי): יישמו במפגשי המעבדה, כבסיס לעבודה העצמית

מטרת פרק זה היא הכנה, לשם ריענון ידע קודם שנסקר במעבדת המבוא, או בקורסים קודמים. יש לבצע את ההכנה לפני המעבדה הראשונה בכל ניסוי. כל הקוד שתכינו בהכנה זו יהווה חלק וישמש אתכם בניסויי הכיתה. התשובות יסייעו להבנה והפנמת החומר. יש להביא את כל הקוד לכל הפגישות.

1.1. בניית תמונה – ריבוע בתוך ריבוע, `SquareInSquare`:

מטרת התרגיל לבנות תמונה להכרת תכונות מערכת הראייה האנושית.

יש לבנות תמונת גווני אפור ריבועית, בגודל $N \times N$, $N=400$.

לתמונה תהיה בהירות רקע `Bbackground`, ובתוכה יהיה ריבוע פנימי במיקום

$(150:250, 150:250)$, בבהירות `Bobject`. דוגמה לתמונת התוצאה ניתן

לראות משמאל:



איור 1: אובייקט ורקע

המלצה: כרגיל, רצוי להשתמש בפרמטרים לכל הנתונים, ולהניח רק את ערכי הבהירות המותרים לכל

פיקסל לפי `UINT8`.

הדרכה: ייצרו את מטריצת הרקע, מטריצת אחדים בגודל התמונה הרצוי, מוכפלת בקבוע, שהוא ערך הרקע

הרצוי: $p = B_{background} * ones(N)$. בתמונת התוצאה, p , שנו את ערכי הריבוע הפנימי לפי הדוגמה

בעמוד האחרון של תדריך מעבדה 0: $B_{object}(150:250, 150:250) = p$, ולבסוף הפכו את התמונה

p למשתנה מסוג `uint8`. הציגו תמונת תוצאה.

1.2. ייצור תמונת פסים (`stripes_uint8`):

מטרת התרגיל לבנות תמונת פסים לשימוש בניסוי להכרת תכונות מערכת

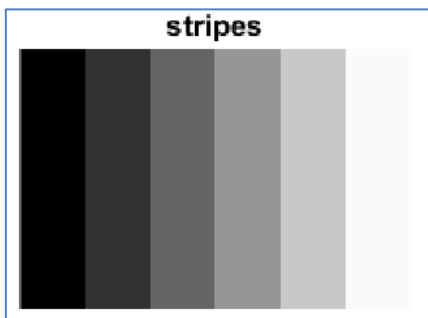
הראייה האנושית.

יש לבנות תמונת פסים בעלי בהירויות שונות.

גודל התמונה 200 שורות על 300 עמודות, כאשר ערכי הפיקסלים בפסים

הם: $[0, 50, 100, 150, 200, 250]$ בהתאמה.

דוגמה לתמונת התוצאה ניתן לראות משמאל:



איור 2: פסים אנכיים

המלצה: בתרגיל זה, כמו גם בכל תרגילי הדו"ח המכין, רצוי להשתמש בפרמטרים לכל הנתונים, ולהניח

רק את סוג המשתנה של ערכי הבהירות המותרים לכל פיקסל, לפי `UINT8`.

למשל, עבור התרגיל הנוכחי, ניתן להגדיר פונקציה (יש לכתוב קוד – זוהי אינה פונקציה קיימת במטלב)

מהצורה הבאה, שתחזיר תמונת פסים p .

`p=stripes_uint8(height,width,num_stripes[,stripe_values])`

מותר להניח הנחות מקלות: למשל, שרוחב התמונה מתחלק במספר הפסים.

הדרכה: ניתן לבצע במספר דרכים. למשל: דרך א: לבנות תמונה בגודל התוצאה הרצוי, ובגוון הפס

הראשון, ואז לשנות את ערכי כל פס כמו בסעיף הקודם. דרך ב: לייצר וקטור שורה שמכיל את ערכי

השורה הראשונה, ולשכפל אותו בעזרת הפקודה `repmat`.

1.3. יצירה והצגה של אותות

מטרת התרגיל להיזכר ולהתאמן ביצירה של אותות חד ממדיים, ובייצוגם בזמן ובתדר, להציגם בגרף (plot), וכשורה משוכפלת בתמונה. הם ישמשו ליצירת תמונות להכרת תכונות מערכת הראייה האנושית, וכן כבסיס לפעולות מרחביות במהלך הניסוי.

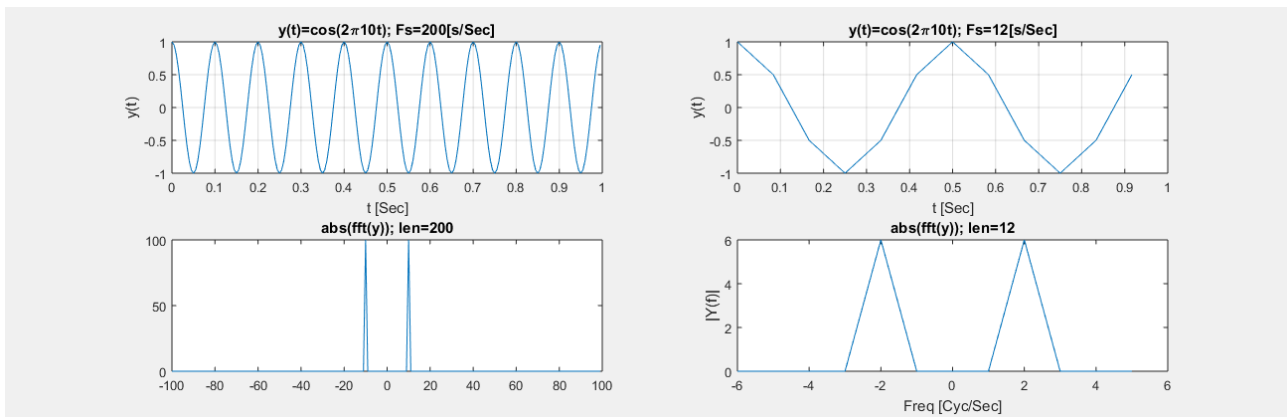
1.3.1. הצגת אות סינוס בפורמטים וטיפוסי משתנים שונים (תרגיל בית מעבדה 0)

בצע את תרגיל יצירת אות ותמונת הסינוס מהתרגול העצמי, בתדריך מעבדה 0 עמ' 6. בתרגיל הנ"ל נתון קוד דוגמה לייצור שורה אופיינית, ואז יש לשכפל אותה לפי דרך ב בסעיף הקודם, עבור כל טיפוס המשתנים.

1.3.2. יצירה והצגה של אותות חד מימדיים (1D) בזמן ובתדר

הנחייה: בתרגיל זה ניתן להשתמש בפקודת `linspace()`, או להשתמש בצורה `a:b:c`.

1. כתוב תכנית MATLAB, המייצרת אות סינוסי דגום $y(t)$, לפי הפרמטרים: תדר, f , משרעת (אמפליטודה) A , משך זמן L , ותדר דגימה f_s , ואשר מחזירה שני וקטורים: t , $y(t)$.
נתונים להרצה: $f=10$ [Hz], משרעת של $A=7$, באורך שניה אחת $L=1$ [sec].
תדר הדגימה $f_s=200$ [samples/second]=200 [“Hz”] (כלומר האות יכול 200 דגימות בדיוק).
2. שנה את f_s ל- $f_s=12$ [s/sec], והצג את $y(t)$ לאחר הדגימה בתדר החדש (הפעם יכול 12 דגימות).
3. חשב FFT של כל אחד מהאותות.
4. הצג את התוצאה בגרף לפי הדוגמה, כולל צירים וכותרות. שימו לב לציר הזמן – בשניות.



איור 3: דוגמה לאותות חד ממדיים לסעיף 1.3.2

הערה: דוגמת תוצאה עם אורך של F_s+1 מופיעה בנספח, ונתייחס אליה בכיתה.

5. חזור על הסעיפים הקודמים, כאשר הפעם $y(t)$ יהיה אות סינוסי מסוג `uint8`, בטווח ערכים של 0-255. (אות זה ישמש כבסיס לתרגיל בניסוי). העזר בתרגיל מסעיף 1.3.1.
6. **שאלות לדוח המכין:** האם האותות החד ממדיים שייצרתם עומדים בתנאי נייקוויסט? מדוע הם נראים כך? מה הייתם מצפים לקבל במקרה האידאלי? מהו מקרה זה? התשובה צריכה להיות ספציפית ולא כללית, ולהתבסס בין היתר על נתונים מספריים שקיבלתם, כמו ערכי התדירות.

1.4. קונבולוציה חד מימדית, אות, רעש וסינון חד מימדיים

מטרת התרגיל לשמש בסיס לפעולות דו ממדיות, ולהבנת מושגים ברעש חד ודו ממדיים.

כזכור, פעולת סינון באות חד ממדי (מעבר אות דרך מערכת לינארית) ניתנת לחישוב בציר הזמן ע"י קונבולוציה בין האות, לבין התגובה להלם של המערכת, או בציר התדר ע"י מכפלת התמרת פורייה של האות לפונקציית התמסורת של המערכת.

$$g[n] = f[n] * h[n] \quad \text{כידוע, ניתן לסמן קונבולוציה כך:}$$

1.4.1. רקע

1. רשום את נוסחת (הגדרת) הקונבולוציה החד ממדית הבדידה, תוך התייחסות לאורך שני הווקטורים.

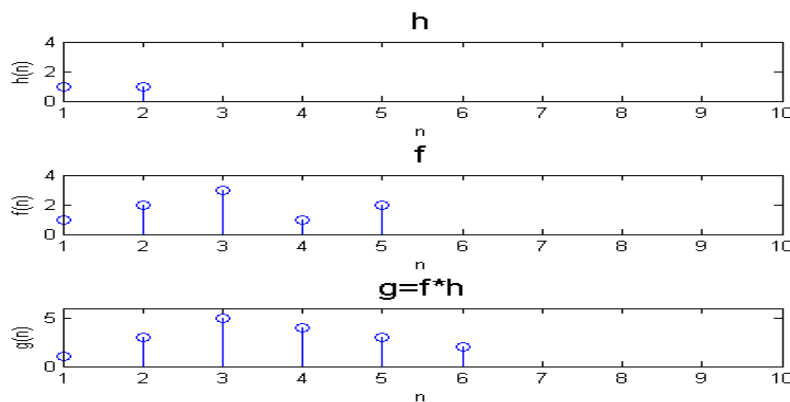
1.4.2. קונבולוציה חד מימדית

עבור הסעיפים הבאים: נתון האות $f[n]$ והמסנן $h[n]$ כפי שרשום משמאל:

$$f = [1 \ 2 \ 3 \ 1 \ 2];$$

$$h = [1 \ 1];$$

2. א. חשב ידנית את הקונבולוציה $g[n] = f[n] * h[n]$.
- ב. חשב שוב תוך שימוש בקונבולוציה גרפית. אמת את תוצאת החישוב במטלב תוך שימוש בפקודת **conv** ($g = \text{conv}(f, h)$).
3. שים לב לממדי התוצאה, ולעובדה שמניחים הרחבות בערך 0 מסביב לאותות המקור הנתונים.
4. שרטט גרפית את האותות ואת התוצאה כפי שמודגם (ניתן להשתמש בפונקציה $\text{stem}()$)



איור 4: קונבולוציה חד מימדית (תוך שימוש בפקודת $\text{stem}()$)

5. קונבולוציה עם הלם מוזז – הדגם (והסבר) הזזת אות חד ממדי מוגבל בגודלו, תוך שימוש בקונבולוציה.
6. שכפול אות על ידי קונבולוציה עם סכום הלמים מוזזים: השתמש בתוצאות הסעיף הקודם ליצירת אות חדש, g_2 , כאשר $g_2[n] = f[n] * h_2[n]$. אורכו של g_2 יהיה 10 דגימות והוא יהיה שכפול פעמיים של האות $f[n]$, שאורכו 5 דגימות. יש להגדיר את h_2 , ולהשתמש בקונבולוציה.

1.4.3. יצירת אות חד ממדי (רעש) בעל התפלגות נתונה (גאוסית לבנה)

7. ייצר אות רעש גאוזי לבן, $x(n)$, בעל 4 זוגות פרמטרים שונים של ממוצע ושונות, μ , σ , לבחירתך. עבור כל זוג פרמטרים, הצג גרפית מקטע מייצג של האות $x(n)$ (plot), ואת פילוג הרמות של האות (יש להציג את ההתפלגות בפועל, עבור האות שייצאתם, ולא רק את ההתפלגות התיאורטית של אות בעל הפרמטרים שבחרתם) (היסטוגרמה מנורמלת, $Pr(x)$). אורך הווקטור $x(n)$ יהיה פרמטר קבוע ומשותף לכל ההרצות. יש לבחור אורך מספיק לקבלת סטטיסטיקה אופיינית. יש לוודא שקנה המידה בצירים זהה בכל הגרפים, יש לבחור פרמטרים בערכים שימחישו את משמעותם. (אין איור דוגמה לתוצאה – עליכם לייצר לפי הבנתכם !!!) הערה: לייצור הרעש ניתן להשתמש בפקודה $randn()$. יש להבין את פרמטרי הפקודה מתוך העזרה במטלב.

1.4.4. סינון אות חד ממדי רועש – למפגש השני (אין צורך לבצע למפגש הראשון)

8. הוסף רעש גאוזי עם ממוצע אפס ושונות מתאימה לפי בחירתך, $n1[n]$, לאות החד ממדי מסעיף 1.3, $f[n]$, וסמן את האות הרועש, $f1[n]$. העבר את $f1[n]$ דרך מסנן בעל תגובת הולם $h1[n]$, כאשר $h1[n] = [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]$. (מה סוג המסנן?) נסמן את האות המסונן $g1[n] = f1[n] * h1[n]$. שרטט את האות המקורי, את רכיב הרעש, את תגובת ההולם, ואת תוצאת הקונבולוציה, באופן דומה לאיור 4 לעיל.

9. הסק מסקנות מתוצאות סעיף 1.4.4, לגבי: א. פעולת הסינון, ב. מימדי התוצאה.

2. מהלך מפגש המעבדה הראשון + השני

הדוגמאות והתרגילים להלן מבוססים בחלקם על "תרגילי החימום" שנדרשים כהכנה לחלק הראשון בניסוי: חלקים של המפגש השני יסקרו לקראת סיום המפגש הראשון, כדי לאפשר הכנה מתאימה ותיקון קוד החימום, אם ידרש. יש להשלים בבית חלקים שלא יבוצעו בכיתה. (תודה לד"ר רון שמואלי על מספר הדגמות שנכללו בניסוי)

2.1 חלק 1 – בהירות, ניגודיות ומערכת הראייה האנושית (I)

2.1.1 מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר (Weber Contrast)

רקע

$$C_W = \frac{B_{object} - B_{background}}{B_{background}} \quad (1) \quad \text{ניגודיות וובר (Weber Contrast) מוגדרת ע"י:}$$

הערה: ישנן מספר הגדרות ניגודיות, המתאימות למקרים שונים. ניגודיות וובר, המוצגת כאן, מתאימה למקרה שבו יש אובייקט קטן יחסית בצבע אחד, על רקע אשר בהירותו היא בקירוב אחידה. יש לשים לב שסימן הניגודיות משתנה אם האובייקט בהיר או כהה יותר מהרקע. במקרים מסוימים עבור אותו רקע, סף הרגישות אינו בהכרח סימטרי¹.

סף הרגישות – Just Noticeable Difference (JND) מוגדר בתור ההפרש הקטן ביותר של הגודל הנמדד, שאדם מסוגל להבחין בו². זהו מדד סובייקטיבי הנמצא בשימוש, בין השאר, בנושאי עיבוד תמונה ועיבוד דיבור.

תרגול כיתה:

בדוק את סף רגישות העין שלך לפי ניגודיות וובר, ב-3 בהירויות רקע שונות. בהתבסס על תרגיל חימום מספר 1.1, כתוב תכנית מטלב המציגה את התמונה הבאה:

1. שנה את ערכי הרקע והאובייקט עד לסף האבחנה.

2. חזור על הפעולה מספר פעמים, ברקעים כהים ובהירים,

ובדוק האם יש הבדל בסף האבחנה?



¹ Dannemiller JL, Stephens BR, "Asymmetries in contrast polarity processing in young human infants", J. Vision, 2001;1(2):112-25.

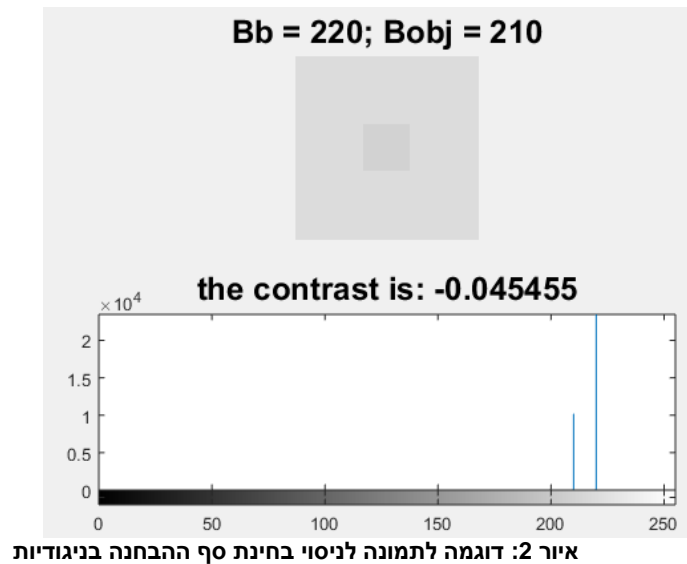
² Medical Definition of JUST NOTICEABLE DIFFERENCE: the minimum amount of change in a physical stimulus required for a subject to detect reliably a difference in the level of stimulation. Source: Meriam-Webster Medical Dictionary, (retrieved 2015/10/22), <http://www.merriam-webster.com/medical/just%20noticeable%20difference>

דוגמה לקוד לניסוי (משופר):

```
%% 1 Weber contrast

clear all; close all;
Bb=220; % try several values 40, 140, 220
B=ones(400)*Bb;
for Bo = Bb+10 : -1 : Bb-10
    B(150:250, 150:250)=Bo; % use values from -5 to +5
    subplot(2,1,1); imshow(uint8(B));
    title(['Bb = ', num2str(Bb), '; Bobj = ', num2str(Bo)], 'FontSize', 18);
    subplot(2,1,2); imhist(uint8(B));
    Cw = (Bo-Bb)/Bb;
    title(['the contrast is: ', num2str(Cw)], 'FontSize', 18);
    pause;
end
```

דוגמה לתמונת תוצאה רצויה



איור 2: דוגמה לתמונה לניסוי בחינת סף ההבחנה בניגודיות

סיכום לביצוע בכיתה, בסיום התרגיל:

רכז את התוצאות שהתקבלו עבור 3 בהיריות בטבלה, והסבר את משמעותן.

לדו"ח המכין (מפגש 2)

א. הצג גרף תיאורטי של סף הרגישות של העין לניגודיות כתלות בבהירות התמונה.

ב. רשום את ציפיותיך לכושר ההבחנה בניסוי שתבצע: מהו C_w המצופה, והאם תלוי בבהירות? (אם הניסוי בוצע, השווה בין המדידה לתיאוריה).

לדו"ח המסכם: האם הצורה תואמת את התיאוריה? נמק את תשובתך תוך שימוש בטבלה שקיבלת, ובגרף

שמציג אותו. דון בשאלה והסק מסקנות מהניסוי.

(כהדרכה לנדרש במעבדה המתקדמת, ניתנת באופן חד פעמי הכוונה לסיכום הנדרש בסעיף זה: נדרשו שלושה דברים: ריכוז תוצאות ומשמעותן, השוואה לתיאוריה, ודיון והסקת מסקנות. פירוט: א. ריכוז התוצאות כולל את ה-JND של הניגודיות עבור כל אחד מערכי בהירות הרקע הרשומים לעיל, כלומר 40, 140, 220, עם הסבר מילולי למשמעותן. לכל אחד מהם יש לרשום את B_o , B_b , ו- C_w – ערך ניגודיות ובר, החיובית והשלילית, המחושב מתוכם (לפי נוסחה (1)). ב. עתה יש להשוות לתיאוריה (להציג גרפית את המדידות, ולהציג את התיאוריה, האם סף האבחנה בניגודיות תלוי \ אינו תלוי בבהירות – יש למצוא מקור תומך אם אתם מסכימים לטענה זו, או מקור שולל, אם לא). ג. בדיון, אם התוצאה אינה מתאימה לתיאוריה, יש לנסות ולשער סיבות אפשריות, ולתמוך בהן ע"י התייחסות עניינית לתוצאות שהתקבלו).

במסקנות ניתן גם להתייחס לתנאי סביבה, לסוג התצוגה ולכל מסקנה רלוונטית, שתמחיש לקורא כי הסטודנט הפנים את הנושא ושולט בו. מסקנות כלליות ושאינן מחדשות – גורעות מאיכות הדו"ח. דוגמה לטבלה (עם ערכי דוגמה, לא בהכרח "נכונים". הערכים הנמדדים ימולאו על ידכם):

40	140	220	Bb בהירות הרקע
		212	227 Bo בהירות האובייקט
		-0.036	0.032 JND(Cw)

הערה: בפגישה הבאה יורחב רעיון סף ההבחנה, JND, בתנאים שונים (למשל בתוספת רעש).

2.1.2. המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור; – פסי מאך (Mach Bands)

תרגול כיתה:

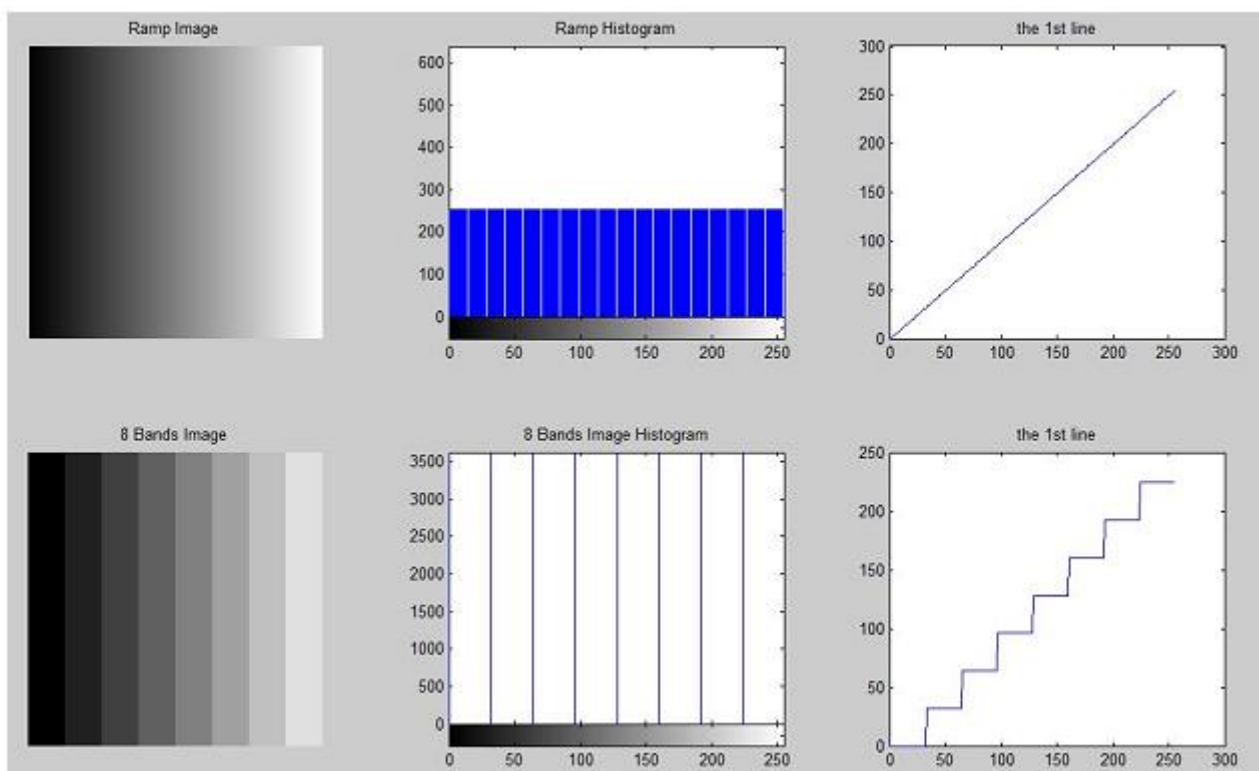
בהתבסס על תרגיל חימום 1.2, יש לבצע את המשימה הבאה:

להמחשת תכונת הגזירה של העין האנושית – כתוב תוכנית המציגה את Mach Bands ב 8 ו 16 רמות אפור.

עמוד על כושר האבחנה בין רמות באזורים בהירים ביחס לאזורים כהים. הצג כמתואר באיור הבא :

- תמונה שבה ערכי רמות האפור נעים בין 0 ל 255 בכל שורות התמונה. היסטוגרמת התמונה, וגרף של השורה הראשונה בתמונה.
- תמונת פסים (בצע עבור 8, 16, 32 פסים) היסטוגרמה, וגרף השורה הראשונה.
- הוסף רעש מסוגים שונים לתמונה ועמוד על כושר האבחנה.

הפלט המבוקש יהיה מהצורה:



איור 3: דוגמה לפלט המדגים את פסי מאך. בשורה העליונה משמאל לימין: תמונת "רמפה" (משטח עולה) של 256 רמות; היסטוגרמת תמונת הרמפה; שורה אופיינית בתמונה. בשורה התחתונה משמאל לימין: תמונת "מדרגות" עם 8 רמות; היסטוגרמת תמונת המדרגות; שורה אופיינית בתמונה.

הערה: בהדגמה בכיתה, יוצגו גם רעש גאוס' ורעש מלח-פלפל המפורטים בהמשך.

2.1.3. הבחנה בקונטורים וטישטושם (הדגמה בלבד):

הדגמה:

בעת התבוננות בתמונת פסי מאך ניתן לראות את הדגשת הקונטורים הנובעת מתכונת הגזירה המרחבית של העין. נדגים כיצד קונטורים כאלו עלולים להפריע בתמונה, למשל כאשר משתמשים במספר רמות קטן בתמונה. פתרון אפשרי לשבירת הקונטורים כדי להקטין את ההפרעה התפישית הוא ע"י שימוש באלגוריתם error diffusion.

תודגם הצגה של תמונת Lena עם 1, 2, 3 ביטים לפיקסל (bits per pixel - bpp). נראה את ההבחנה בקונטורים ואת תוצאת טישטושם ע"י האלגוריתם הנ"ל. הנושא יידון יותר לעומק בניסוי 4 (קוונטיזציה).

תמונות להמחשה – הסבר איור 4:

בעמודה השמאלית בשורה העליונה, (a), מוצגת תמונת המקור עם 8 ביטים לפיקסל, סה"כ 256 רמות אפשריות. המעברים בין הרמות, למשל באזור הכתף, נראים חלקים (מדוע?). בתמונה האמצעית (b) נראית התמונה לאחר הקטנת מספר הרמות ל-4, כלומר 2 ביטים לפיקסל (2 [bpp]). ניתן להבחין בבירור ב-4 הרמות: לבן, אפור בהיר, אפור כהה ושחור. שימו לב למעברים בין הרמות, למשל באזור הכתף, שהפעם נראים בהם קונטורים.

בתמונה הימנית (c) מופיעה תוצאת הפעלת האלגוריתם הנ"ל שהופעלה על תמונה (b). תמונה (c) עדיין בעלת 4 רמות, אך נעימה יותר לעיין, כתוצאה מטשטוש הקונטורים.

בשורה השנייה מוצגת התוצאה עבור 8 רמות אפשריות במקום 4 (3 [bpp], במקום 2 [bpp]).

Lena, 8 bits per pixel (bpp)



(a)

Lena with 2 bpp



(b)

Lena after Error Diffusion Alg. with 2 bpp



(c)

Lena, 8 bits per pixel (bpp)



(d)

Lena with 3 bpp



(e)

Lena after Error Diffusion Alg. with 3 bpp



(f)

איור 4: הבחנה בקונטורים וטישטושם. (a) תמונת מקור (Lena) עם 256 רמות בהירות (8 [bpp]), (b) תמונה בעלת 4 רמות בהירות (2 [bpp]), (c) תמונה בעלת 4 רמות בהירות (2 [bpp]) לאחר שהופעל אלגוריתם לטישטוש קונטורים על תמונה (b). (d) תמונת מקור (Lena) עם 256 רמות בהירות (8 [bpp]) – זהה ל-(a), (e) תמונה בעלת 8 רמות בהירות (3 [bpp]), (f) תמונה בעלת 8 רמות בהירות (3 [bpp]) לאחר שהופעל אלגוריתם לטישטוש קונטורים על תמונה (e).

2.2. חלק 2 – אותות דו מימדיים, ומערכת הראייה האנושית (II)

יצירה והצגה של אותות חד מימדיים (1D) – נסקרה בתרגיל חימום, סעיף 1.3.
(פקודת `linspace()` או שימוש בצורה `a:b:c`). נתייחס לתוצאות ונדון בהן ובמשמעותן בכיתה.

2.2.1. יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)

הדגמה \ עבודה עצמית תוך התייחסות לשני אופני מימוש חלופיים: ע"י לולאה על השורות, וע"י שימוש בפקודת `repmat()` ללא לולאה.

א. כתוב תכנית Matlab המייצרת את האותות הסינוסואידליים המרחביים מסוג `uint8` הבאים, סביב רמת אפור של 127, כאשר:

אות $I_1(x, y)$: סינוס בתדר 5 מחזורים לתמונה בציר X , ומשרעת 50

אות $I_2(x, y)$: סינוס בתדר 10 בציר Y משרעת 100

אות $I_3(x, y)$: סינוס בתדר 5 בציר X ותדר 10 בציר Y משרעת 127

ב. הצג כתמונה את האותות – תוך שימוש בפקודת `imshow(Img)`, כאשר `Img` יוחלף בכל אחד מהאותות הנ"ל.

הסבר את התוצאות והראה על האות $I_3(x, y)$ כיצד מודדים את התדר המרחבי מתוך התמונה.

ג. חזור על הסעיף הקודם, הפעם השתמש בצורה `imshow(Img, [])` המנרמלת את האות לפני ההצגה כתמונה. הדגם והתייחס לנרמול אוטומטי כאשר מודדים את ניגודיות תמונת המקור.

המשך את ניסוי הכיתה בדו"ח המכין הקרוב:

ד. סכם את האותות: $I_4(x, y) = I_1(x, y) + I_2(x, y) + I_3(x, y)$. מתח את $I_4(x, y)$ על כל התחום הדינמי

(ללא קטימה או עיוות) 0-255 או 1-255, והצג כתמונה. הסבר את התוצאות.

ה. הצג את האות המסוכם גם בעזרת גרף תלת ממדי. זהה את התדרים השונים בתמונה, למשל ע"י הצגת האות מזוויות שונות. וודא סימון הצירים.

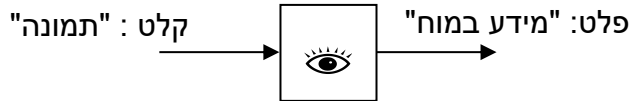
דוגמאות פלט לסעיף – יוצגו במעבדה, בסיום התרגול העצמי.

2.2.2.2. כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson

2.2.2.2.1. רקע

מערכת הראייה האנושית, Human Visual System (HVS), מתייחסת אל האות הוויזואלי הנכנס אל העין כמערכת, שהמוצא שלה הוא תגובת האדם לאחר עיבוד המידע במוח.

כלומר HVS מתייחס אל המערכת הבאה:



סף האבחנה **בתדר המרחבי (Spatial Frequency)** של העין, תלוי בניגודיות. לחלופין סף האבחנה **בניגודיות (Contrast)** תלוי בתדר המרחבי ובהירות.

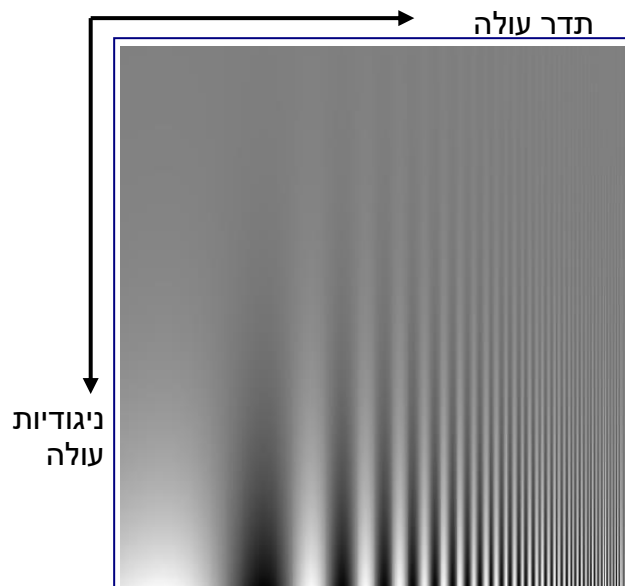
- תגובת התדר המרחבי, היא פונקציית התמסורת של העין, שנקראת גם MTF: (Modulation Transfer Function).
- כושר (סף) האבחנה ברמות הניגודיות בתלות בבהירות קשור גם לחוק Weber (כפי שראינו קודם).
- רעש בתמונה משפיע על כושר האבחנה ("יבדק").
- בנוסף, לעין יש ספי אבחנה נוספים הניתנים למדידה, למשל בצבע (color) ובקצב השינויים בציר הזמן (temporal) בתמונה (משפיע על טיפול באות וידאו). ספים אלו לא יבדקו במעבדה זו.

2.2.2.2.2. תרשים Campbell-Robson

את הקשר בין כושר האבחנה **בתדר מרחבי** וכושר האבחנה **בקונטרסט** ניתן לבחון בתרשים Campbell-Robson (CR) המופיעה שהיא בעלת המאפיינים:

- בציר X: אות סינוס מרחבי בעל תדר שגדל אקספוננציאלית משמאל לימין.
- בציר Y: ניגודיות שדועכת אקספוננציאלית מלמטה למעלה.

(במפגש 1: תערך **הדגמה** בכיתה ללא ייצור האות, במפגש 2 ימשיך הניסוי)



איור 5: תרשים Campbell-Robson

2.2.2.3. הדרכה לבניית תרשים CR

(הסבר הבניה לדוח המכין). בניסוי זה הנח תמונת גווני אפור בגודל $N \times N$ פיקסלים, עם 8 ביט לפיקסל.

אם בתמונה יש אות $g(x, y)$ בתדר מרחבי אופקי יחיד, ובאמפליטודה קבועה, ניתן לתאר את האות ע"י:

$$g(x, y) = C + A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad 0 \leq y \leq 1; \quad \text{where } f, A, C \text{ are const}; \quad (2)$$

אם התדר אינו קבוע, אלא תלוי במיקום על ציר x (תדר מרחבי אופקי), יוחלף f הקבוע מנוסחה (2) ב $f(x)$. באותו אופן, עבור ניגודיות משתנה בציר האנכי (תלוייה ב- y בלבד), יוחלף A מנוסחה (2) ב- $A(y)$.

כלומר אות מרחבי כנ"ל יבוטא כך:

$$g(x, y) = C + A(y) \cdot \cos(2\pi \cdot f(x) \cdot x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad 0 \leq y \leq 1; \quad \text{where } C \text{ is a const}; \quad (3)$$

ועבור תרשים CR, C יהיה 128^* , וכל אחד מהביטויים $A(y), f(x)$ יהיה פונקציה אקספוננציאלית.

את הפונקציה האקספוננציאלית ניתן לבנות למשל ע"י בניית וקטור לינארי בערכים רצויים, ואז לבצע העלאה בחזקה שלו לקבלת האמפליטודה או התדר.

בפרקי הדו"ח המכין, ביצוע הניסוי והדו"ח המסכם שבהמשך, מורחב הנושא. מומלץ לקרוא מראש!!!

2.3. חלק 3 – קונבולוציה דו מימדית, סינון מרחבי, רעש בתמונה (III)

מתת פרק זה, יועבר החומר בצורה סלקטיבית במהלך המפגש הראשון, כסקירה תוך מתן דגשים מתאימים, ותוך התייחסות לקוד החימום שכתבתם. הביצוע ימשיך במפגש השני.

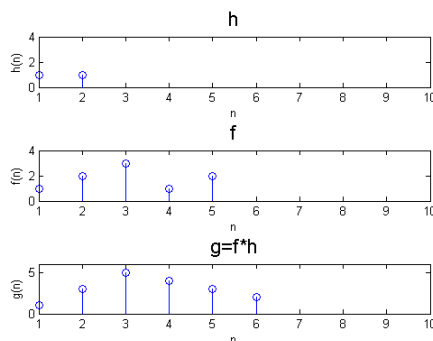
2.3.1. קונבולוציה חד מימדית – ראו תרגיל חימום 1.4

תזכורת: פקודת `conv`:

```
f=[1 2 3 1 2];  
h=[1 1];  
g=conv(f,h)
```

$g =$ 1 3 5 4 3 2

יש לשים לב למימדי התוצאה, ולעובדה שמניחים הרחבות בערך 0 מסביב לאותות המקור הנתונים



איור 6: קונבולוציה חד מימדית (תוך שימוש בפקודת `stem`)

2.3.2. קונבולוציה דו מימדית

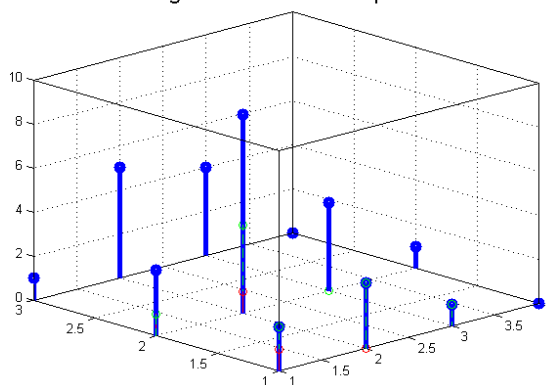
2.3.2.1. הדגמה; היכרות עם $\text{conv2}(h, f)$.

הערות: ממדי התוצאה: 'full', 'same', 'valid' כאשר ברירת המחדל היא **full**.

Note: All numeric inputs to `conv2` must be of type double or single.

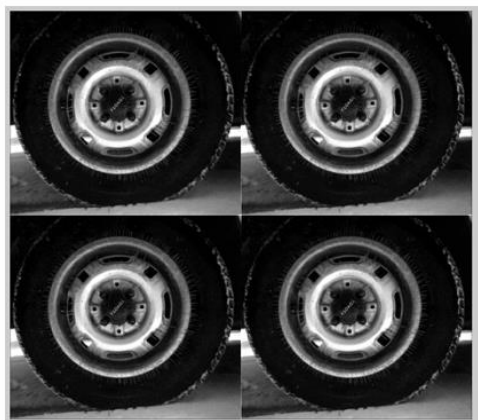
<pre>h= [1 0; 1 1]; f=[2 3 1; 1 4 0]; g=conv2(h, f);</pre>	<pre>h = 1 0 1 1 f = 2 3 1 1 4 0 g = 2 3 1 0 3 9 4 1 1 5 4 0</pre>
--------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

g=h*f - stem 3D example



איור 7: קונבולוציה דו מימדית (תוך שימוש בפקודת `stem3`)

2.3.2.2. דוגמה: שכפול תמונה ע"י קונבולוציה עם מסרק הלמים



איור 8: שכפול תמונה ע"י קונבולוציה

- ניסוי עצמי:** שכפל את המטריצה f למערך של 3×4 שכפולים ללא רווחים ע"י קונבולוציה דו מימדית (כלומר לשכפל ללא שימוש בלולאות או בפקודת `repmat`). הצג את מטריצות הכניסה h , f ומטריצת התוצאה g .
- שכפל את התמונה 'tire.tif' פי 4 (2×2 תמונות), לפי הדוגמה שבאיור משמאל.
- חזור על הפעולה כאשר בין השכפולים יש מרווח של 50 פיקסלים בערך אפס (לא מודגם במסמך זה)

2.3.3. רעש, ושימוש בקונבולוציה בסינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)

2.3.3.1. כללי

סינון מרחבי נעשה בד"כ בעזרת קונבולוציה של תמונה (מטריצה "גדולה") עם מסכה (מטריצה "קטנה") במרחב התמונה.

שימושים מרכזיים:

- הקטנת רעש, החלקה (מסנני LPF \ מיוצע, חציון)
- זיהוי שפה, חידוד (מסנני HPF למשל לפליסיאן, גרדיאנט: סובל)

2.3.3.2. דוגמאות למסננים בתמונה

- מסנני LPF
הפעלת מסנן ממצע, ממוצע משוקלל, התמודדות עם רעש

- מסנני HPF
Sobel, laplacian, gradient
גילוי גבולות

- מסננים מיוחדים
Median, sharpening (רעש)

פקודות MATLAB

edge, medfilt, fspecial, imfilter, filter2, medfilt2

2.3.3.3. מסננים

ניסוי כיתה: (ייתכן שיבוצע במפגש 2) מסננים לינאריים (שימוש ב-conv2)

1. כתוב תוכנית MATLAB המפעילה את המסננים הבאים על תמונת pout.tif (שימוש בפקודה conv2)

- מסנן מעביר נמוכים.

$$W_{LPF} = 1/9 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- מסנן מעביר גבוהים מהצורה $W_{HPF} = 1 - W_{LPF}$

$$W_{HPF} = 1/9 * \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- מסנן המבצע פעולת חידוד מהצורה $W_{sharp} = 1 + HPF$

$$W_{sharp} = 1/9 * \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 17 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- מסנן laplacian לזיהוי קווי שפה

$$W_{laplac} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

מסננים לא לינאריים מסוג חציון (שימוש ב-medfilt2)

2. כתוב תוכנית Matlab המפעילה מסנן חציון בגודל 3x3 על התמונה pout.tif. השתמש בפקודה medfilt2

שאלת אתגר (רשות, לדו"ח המסכם): חזור על 2, ע"י סריקת התמונה עם לולאה כפולה, ושימוש

בפקודה החד-מימדית median, ע"י בדיקה של (median(.)). התייחס לכמות החישובים

בשני המקרים, ולתוצאה המתקבלת. האם התוצאות תמיד זהות? נמק ותן דוגמה להמחשה.

2.3.3.4. הוספת רעש לתמונה: פקודת imnoise + ניסוי עצמי

הוספת רעש כלשהו לתמונה מסוג uint8 ע"י פקודת imnoise נותנת תוצאה מאותו סוג משתנה, ובאותו תחום דינמי. עבור רעש גאوسي, $imnoise('gaussian', m, v)$, הרעש חיבורי (בתמונת uint8 מתווסף לערך הפיקסל וחסום ע"י 0-255, ובתמונת double חסום ע"י 0-1).

ברישום הפרמטרים, ההנחה היא שהאות בתחום 0-1. כלומר פרמטרי הרעש – התוחלת m , והשונות v , הם בסקאלה של 0-1.0. בד"כ נניח שממוצע הרעש הוא 0.

הערה: יש לשים לב, ששונות (variance) של 10% אינה תוספת רעש ממוצעת של 10% לתמונה! ההסבר פשוט: התוספת הממוצעת היא סטיית התקן, ועבור $v=0.1$ מתקבל: $\sigma = \sqrt{0.1} = 0.316$, כלומר שונות של 10% שקולה להרעשת הפיקסלים בסטיית תקן של 32%. עבור uint8 סטיית התקן היא $81!!! = 255 * 32\%$. סטיית תקן של 10% (כלומר 25 בסקלת 0-255) שקולה לשונות של $1\% = (10\%)^2$!!

עבור רעש מלח-פלפל, הפרמטר הוא צפיפות הפיקסלים המורעשת. למלח (לבן = 255) או פלפל (שחור = 0).

2.3.3.4.1. ניסוי עצמי 2.3.3.4: (התוצאה אינה מודגמת)

1. הוסף לתמונה רעש גאوسي בעל ממוצע אפס וסטיית תקן של 10% (שים לב, כפי שהוסבר למעלה – $v=1\%$ ולא אחרת), והצג אותה.
2. הפעל בשנית את האופרטורים מניסוי 2.3.3.3. השווה את התוצאות.
3. הוסף לתמונה רעש מלח-פלפל בעל צפיפות של 10% והצג אותה.
4. הפעל בשנית את האופרטורים מניסוי 2.3.3.3. השווה את התוצאות.
5. נדרש לבצע כל אחת מהפעולות שמבצעים האופרטורים של ניסוי 2.3.3.3. אלו אופרטורים כדאי להפעיל ובאיזה סדר כדי להתגבר על הרעש ולקבל תוצאות קרובות לתוצאות הפעולות על התמונה המקורית?
6. לדוח המסכם התייחס³ לרמות הרעשה שונות.
7. בנוסף התייחס בתשובתך בין השאר לשאלה, מתי מספיקה הפעולה המקורית, ומתי רצוי לבצע פעולת ניקוי רעש מקדימה, אם כן איזו פעולה, ועם אלו פרמטרים.

³ כרגיל, "התייחס" פירושו: סכם את התוצאות, השווה לתיאוריה, נתח את התוצאות ודון בהבדלים או בדמיון, והסק מסקנות.

2.3.3.4.2. חישוב MSE, SNR, PSNR בין תמונות

תרגיל כיתה במפגש השני \ תרגיל בית לדו"ח המסכם

רשום פונקציית מטלב המחשבת את השגיאה הריבועית הממוצעת (Mean Square Error – **MSE**), בין תמונה נבדקת, I_2 , לתמונת מקור, I_1 .

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2 \quad (4)$$

תזכורת לנוסחת MSE:

חשב את MSE עבור תמונות מקור שונות.

לכל תמונת מקור הצג דוגמאות מכל המקרים הבאים (כתמונה נבדקת):

1. תמונה נקייה שעברה כל אחד מהמסננים

2. תמונה רועשת לפני הסינון

3. תמונה רועשת לאחר שעברה סינון

חשב בכל המקרים גם את SNR ו- Peak SNR (PSNR), והצג אותו יחד עם MSE.

הצג את תוצאותיך בצורה גרפית, בצירוף תמונות המקור והתוצאה, וצרך לדו"ח המסכם.

מה למדת מניסויים אלו? האם לדעתך יש קשר ישיר בין המדדים האובייקטיביים כמו השגיאה הריבועית

הממוצעת, יחס אות לרעש או PSNR, לבין טיב התמונה הסובייקטיבי, לפי ראות עיניך?

התייחס בתשובתך לדוגמאות מתוך הניסוי שבצעת

הערה: יש לשים לב שהתמונות (מקור מול תוצאה) זהות בגודל, אך גם מותאמות מבחינת מיקום. כדי

לוודא התאמה, ניתן להזיז את אחת התמונות ב 1-2 פיקסלים ימינה ושמאלה, למעלה ולמטה, ולחפש

מינימום בערך MSE. לחלופין ניתן לחפש מקסימום בקורלציה (cross correlation) בין התמונות.

(במקרה הכללי, פעולה זו של התאמה נקראת image registration, ויש דרכים יעילות יותר חישובית

מאשר לבדוק את כל האפשרויות בכל ההזזות היחסיות. בנוסף, יתכן שצורך רגיסטרציה משתמשים

בטרנספורמציה גיאומטרית שונה מאשר הזזה - למשל סיבוב, שינוי מימדים, וכו').

3. דו"ח מכין לניסוי והשלמות קוד (לקראת המפגש השני)

3.1. לסעיף 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר

א. לכל הסעיפים: וודא השלמת הסעיף והצגת התוצאות בצורה ברורה, לפי ההנחיות בסעיף.

3.2. לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור

ב. כיצד אמור להשפיע מספר הרמות המוצגות בתרשים פסי מאך ללא רעש? מהו מספר הרמות המינימלי שבו עדיין מסוגלת העין להבחין (JND)?

3.3. לסעיף 1.3 יצירה והצגה של אותות (חד מימדיים)

א. מה צריך להיות תדר נייקוויסט לאות בסעיף הנ"ל?

ב. השתמש בקוד החימום, (שינוי פרמטרים): "כתוב" תוכנית MATLAB הדוגמת בתדר $f_s=200$ [samples/second], אות סינוסי $y(t)$ בעל תדר $f=66.67$ Hz ומשרעת של 1, באורך שניה אחת. מה קיבלת? מהם ערכי המינימום והמקסימום?

ג. חזור על הסעיף הקודם עם $f=65.93$ Hz. תאר את התוצאה.

ד. הצג את התוצאה בגרף כולל צירים וכותרות.

ה. הסבר את התוצאה ותן מסקנה לתדרי הדגימה שתשתמש בהם בהמשך הקורס

3.4. לסעיף 2.2.1 יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)

א. השלם את הסעיפים שלא בוצעו בכיתה (מיועד לתת כלים לביצוע המשך הניסוי במפגש הבא).

ב. בפעולת הסיכום של 3 תמונות שביצעת, מתקבל קבוע DC המפריע לצפייה. תן נוסחה כללית כיצד תסכם תמונות כך שהקבוע של 128 מתמונות המקור לא יפריע בסיכום.

ג. הסבר מדוע פעולת נרמול בתצוגה בלבד, אינה מתאימה במקרה זה (בתשובתך עליך להתייחס גם לניגודיות, בהירות והתחום הדינמי של תמונות המקור והתוצאה)

3.5. לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson

הנח שהתרשים יהיה תמונת גווני אפור בגודל $N \times N$ פיקסלים, עם 8 ביט לפיקסל

א. עבור תרשים Campbell-Robson, שרטט גרף איכות של ערך האמפליטודה האקספוננציאלי, amp, כפונקציה של מספר השורה, m , תוך ציון הצירים. (רמז: בעמוד הבא)

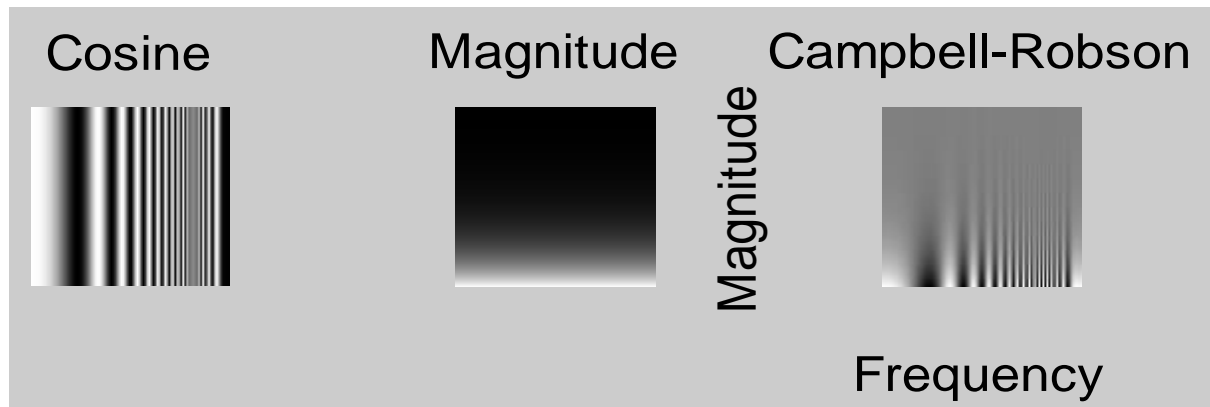
ב. עבור תרשים Campbell-Robson, שרטט גרף איכותי של ערך התדר המרחבי האופקי, f , (האקספוננציאלי) כפונקציה של מספר העמודה, n , תוך ציון הצירים

מעוניינים להציג בתמונה בעלת המאפיינים הנ"ל, אות בתדר מרחבי $f(x)$ בכיוון האופקי, ובאמפליטודה (משרעת) $A(y)$.

ג. הנח שבתמונה יש תדר כלשהו בכיוון x , כרצונך (אפשר תדר יחיד $f(x) = \text{const}$). מהי האמפליטודה $A(y)$ המקסימלית האפשרית להצגה בתמונה $\text{amp_max}=?$; מהי המינימלית $\text{amp_min}=?$. הדגם את תשובתך ע"י plot של עמודה אופיינית בתמונה.

ד. הנח שבתמונה יש אמפליטודה $A(y)$ כלשהי בכיוון y , כרצונך (אפשר להניח $A(y) = \text{const}$). מהו התדר המקסימלי (במחזורים לתמונה) האפשרי להצגה בתמונה $f_max=?$; המינימלי $f_min=?$. הדגם את תשובתך ע"י plot של שורה אופיינית בתמונה.

דוגמאות לצורך הסבר עקרוני של הפלט הנדרש (מומלץ לשפר את אופן ההצגה בדו"ח שיוגש):



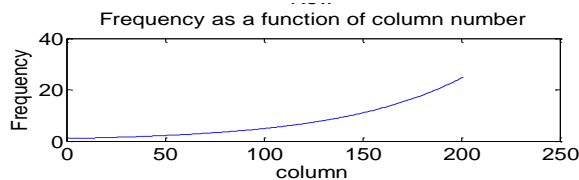
(a)

(b)

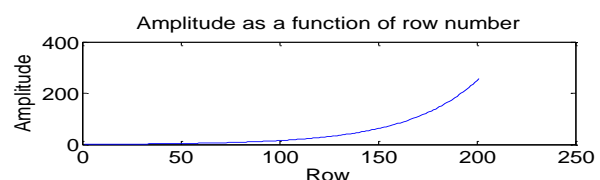
(c)

איור 5:

איור 9: דוגמה ליצירת תרשים קמבל רובסון (CR) – (a) מטריצה A בתדר מעריכי ועוצמה קבועה, (b) מטריצה B בתדר אפס ועוצמה מעריכית, (c) תרשים CR המתקבל מהכפלת האיברים בהתאמה: $CR=A \cdot B^*$



(a)



(b)

איור 10: שורה (b) ועמודה (a) אופייניות ב- CR-chart

3.6. לסעיף 2.3 אם לא בוצע במלואו במהלך המפגש הראשון

- א. בצע את תרגיל החימום בסעיף 1.4 – "קונבולוציה חד מימדית, אות, רעש וסינון חד מימדיים", במלואו.
ב. שכל אות חד מימדי באורך $L=5$, במרווחים של $S=3$ אפסים, $C=4$ פעמים (4 שכפולים), ע"י קונבולוציה עם מסרק הלמים, כאשר המסרק מוגדר, בסדרה אינסופית (איך נקבע הערך 8 בנוסחה?):

$$\begin{cases} h[n=8k]=1, & k=0,\pm1,\pm2,\pm3,\dots \\ h[n\neq8k]=0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

בתשובתך התייחס לאורך הסדרות של אות המקור, המסרק והתוצאה. דוגמה לתוצאה:

[1 2 3 4 5 0 0 0 1 2 3 4 5 0 0 0 1 2 3 4 5 0 0 0 1 2 3 4 5]

3.7. לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה בסינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)

- א. מה מטרת כל אחד מהאופרטורים (מסננים) בסעיף 2.3.3.3? כיצד ובאילו מקרים תשתמש בו?
ב. מתי תשתמש במספר אופרטורים בקסקדה (בזה אחר זה)?
ג. עבור סעיף ב, מהי כמות החישובים הנדרשת בהפעלת 2 מסננים בזה אחר זה? (למשל לפלסיאן לאחר מסנן גאוס). הצע דרך לחסכון בחישוביות לפעולה זו. נסה אותה במעבדה (בשלב הביצוע)
ד. התייחס למסנן סטטיסטי (למשל חציון). האם ניתן להשתמש בשיטה שהצעת בסעיף הקודם בפעולת חציון? הכלל את תשובתך.
ה. בנוס: ענה על שאלת האתגר (רשות)
ו. הכן רקע תיאורטי להרעשת תמונה בהתבסס על סעיף 2.3.3.4 על ספר הקורס ועל תיעוד מטלב.
ז. הכן רקע תיאורטי לחישוב SNR ו-PSNR, כולל נוסחאות ומטרות הממד. רשום פונקציית מטלב לחישוב SNR, PSNR, MSE. בתשובתך התבסס על סעיף 2.3.3, על ספר הקורס, תיעוד מטלב או על מקורות אקדמיים מתאימים (נא לצטט את המקור).

4. ביצוע הניסויים (מיועדים לביצוע על ידי הסטודנטים במפגש השני)

4.1. לסעיף 3.1.1, 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר

א. במידה שהניסוי לא בוצע בכיתה עדיין, חזור על סעיף 2.1.1, תוך שימוש ב-3.1. בנה טבלה שתתאים לשאלות הדו"ח המסכם (הנחיה זו תקפה לכל הניסויים ולא תירשם מעתה והלאה).

4.2. לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור

א. חזור על סעיף 2.1.2, הפעם תוך הוספת רעש לתמונה. צרף פלט מתאים המדגים את שבירת הקונטור בנוכחות רעש. בנוסף לבניית הטבלאות, הוסף בכותרת את סוג הרעש ואת פרמטריו.

4.3. לסעיף 1.3 - יצירה והצגה של אותות חד מימדיים

א. מה צריך להיות מספר הדגימות למחזור באופן מעשי לאור הניסוי? נתח ונמק. (דיון בכיתה).

4.4. לסעיף 2.2.1 - יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)

(-)

4.5. לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson

4.5.1. הנחיות לניסוי:

כדי לבנות את תרשים Campbell-Robson בגודל $N \times N$ פיקסלים, יש להגדיר, ראשית, את הקבועים N , amp_min , amp_max , f_min , f_max , שחושבו בדו"ח המכין.

כדי לקבל תדר עולה בצורה אקספוננציאלית, נגדיר וקטור לינארי, \log_f , למשל ע"י הפקודה

```
log_f = linspace(log(f_min), log(f_max), N)
```

ואז נפעיל עליו את פונקציית $f = \exp(\log_f)$

באותו אופן נבנה את וקטור האמפליטודה האקספוננציאלי. התוצאות דומות ל

עתי ניתן לבנות את התמונה המבוקשת.

4.5.2. הערות למימוש:

רצוי לחשוב גם על אופטימיזציית הקוד מבחינת זכרון נדרש וחישוביות (זמן CPU).

- הדרך האינטואיטיבית למימוש היא בניית שורה אופקית של $\cos(f)$ במשרעת קבועה, כאשר f הוא וקטור, ואז ע"י לולאה בודדת לחשב את השורות, כאשר האמפליטודת תלוייה באינדקס הלולאה.

- דרך נוספת היא לבנות עמודת עוצמה, ולשכפלה ע"י `repmat`; לבנות שורת \cos כמקודם וע"י `repmat` לשכפל אותה, ולסיום לבצע הכפלה של כל זוג איברים מתאימים ע"י `A.*B`.

- בנייה ע"י חישוב כל פיקסל בנפרד באמצעות לולאה כפולה אינו מומלץ.

שאלה למתקדמים:

א. איזו שיטה עדיפה מבחינת ביצועי מטלב? (רמז: אם אינכם יודעים, שווה לבדוק ע"י שימוש בפקודות `toc` `tic`)

4.6. לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה בסינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)

א. בצע את הניסויים שבסעיפים 2.3.3.3 ו-2.3.3.4.

5. דו"ח מסכם לניסוי 1 (להכנה לאחר סיום ביצוע הניסוי במפגש השני)

5.1. לסעיף 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר

- א. מצא ורשום את ערכי ההבדל הקטן ביותר שניתן להבחנה, (Just Noticeable difference – JND), עבור 3-4 רמות בהירות מייצגות. הצג אותן בדו"ח בתמונה עם כותרות מתאימות.
- ב. הצג בטבלה את הבדלי ההבחנה בתלות ברמת הבהירות. סכם את התוצאות ונתח אותן: האם התוצאה תואמת את ציפיותיך? נמק והדגם ע"י צירוף פלט מתאים, והתייחסות לתיאוריה.
- ג. חזור על הניסוי (מחוץ למעבדה) בתנאי תאורה שונים. סכם את התוצאות ונתח אותן כנ"ל.

5.2. לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור

- א. כיצד משפיעה נוכחות הרעש בתמונה על הבחנת הקונטורים בפסי מאך, לפי התרגיל וההדגמה? נמק והדגם ע"י צירוף פלט מתאים המדגים את שבירת הקונטור בנוכחות רעש.

5.3. לסעיף 1.3 - יצירה והצגה של אותות חד מימדיים

- א. כיצד לדעתך יראה הספקטרום (מישור התדר המרחבי) של האות מסעיף 0? נמק, הסבר והדגם.

5.4. לסעיף 2.2.1 - יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)

- א. הסבר את הסיבות לצורך בהפיכת התמונה מסוג uint8 למשתנה מסוג double לפני ביצוע פעולות כמו סיכום תמונות. התייחס בין היתר לתופעות כמו גלישה (overflow) במשתני uint8
- ב. הסבר את הסיבות לצורך בהפיכת התמונה ממשתנה מסוג double למשתנה מסוג uint8 לאחר העיבוד ולפני ההצגה. התייחס בין היתר לתופעות כמו קטימה בעת הצגת תמונות מסוג double.

5.5. לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson

- א. הצג את תוצאות הניסוי וענה על השאלות. רשום מסקנותיך.

5.6. לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה בסינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)

- א. סכם את הניסויים שבצעת בסעיפים 2.3.3.3 ו-2.3.3.4. ענה על השאלות. רשום מסקנותיך.
- ב. מה ההבדל בין תוצאת השימוש בפקודת imfilter לבין תוצאת השימוש בפקודת conv2 לצורך סינון? התייחס לסוגי המשתנים השונים, לטווח התוצאות האפשרי, ולתוצאה הרצויה באופן תיאורטי ומעשי. תן למשל דוגמאות עם מסנן מעביר גבוהים מסוג sobel. נסה להכליל את התוצאה למסנן כלשהו.

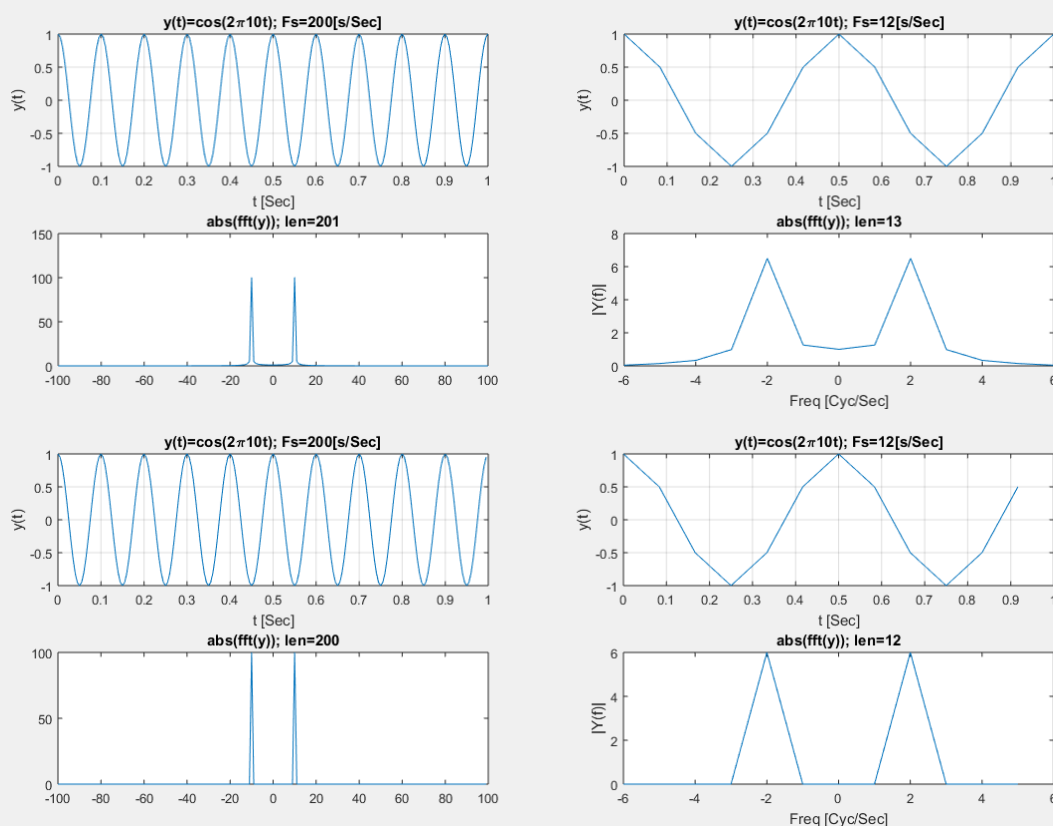
5.7. הוראות כלליות לכל סעיפי הניסוי בכל המפגשים

- א. בסעיפים בהם אין שאלה ספציפית, סכם את הניסויים שבצעת, הוסף תובנות, ורשום את מסקנותיך.
- ב. סיכום סופי: בסיום הדו"ח, רשום את לקחיך המקצועיים והתובנות שקיבלת מהניסוי, מעבר למה שפירטת בשאלות הקודמות. התייחס לעובדות ספציפיות שאינן טריוויאליות, כאלו שיוסיפו ערך גם לקורא המנוסה. למשל, רשום "הצלחתי להדגים את ירידת רגישות JND לבהירות ב-X% עם עליית תאורת החדר", במקום "הצלחתי להדגים את שינויי רגישות JND לבהירות בשינוי תאורת החדר", וכמובן שלא "למדתי הרבה מהניסוי", "הניסוי מתאים לתיאוריה", או "ההבדל בין תוצאות המדידה והתיאוריה נובעת מהשפעת רעש".
- קרדיט:** בניסוי זה ואחרים, שולבו בין היתר גם מספר דוגמאות ולא פלטים של ד"ר רון שמואלי, ושל הסטודנט (הבוגר) רוני אוברצ'יק.

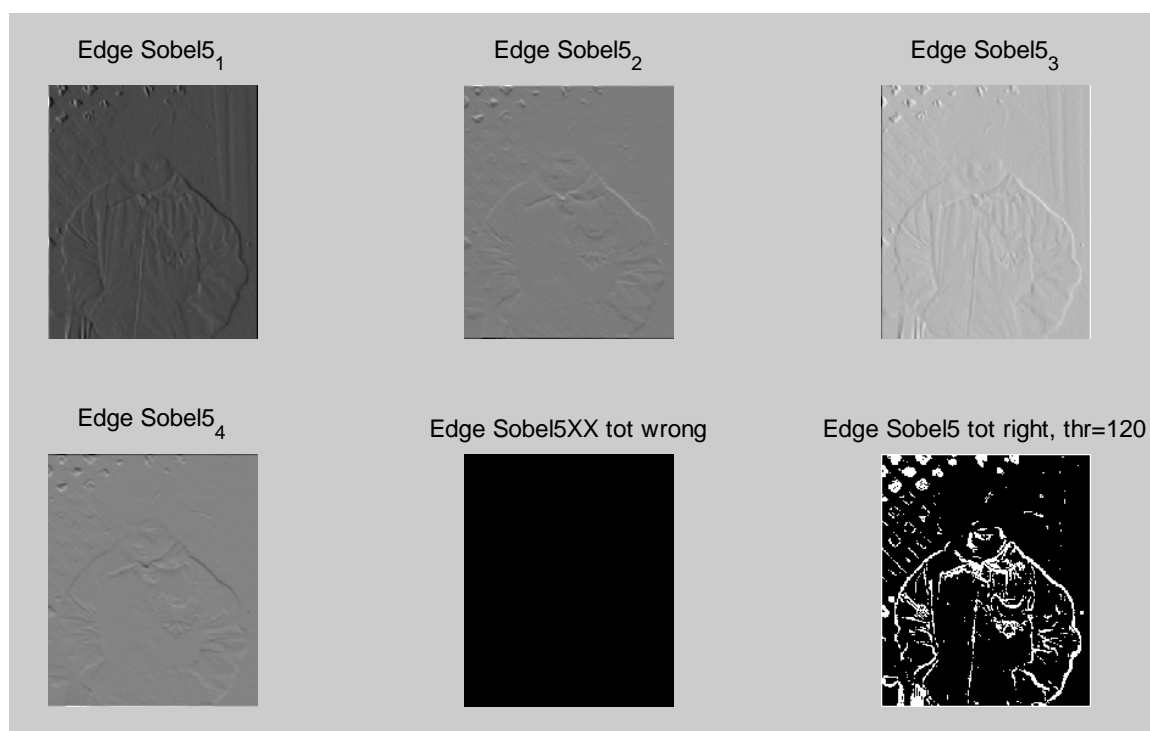
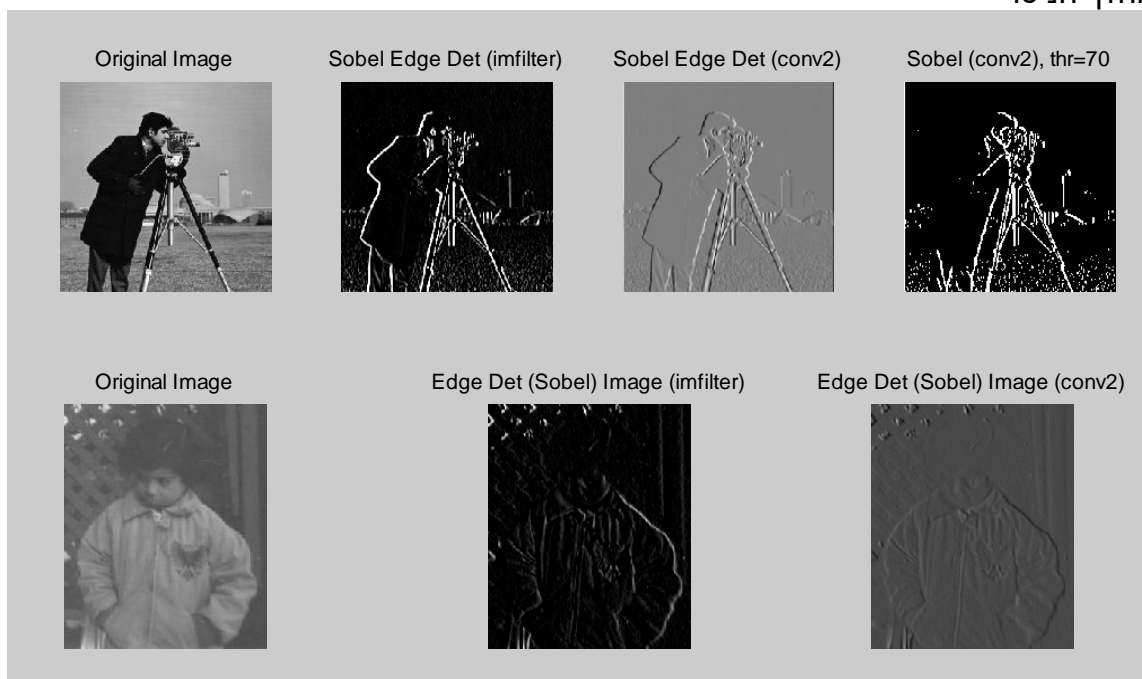
ד"ר אייל כץ

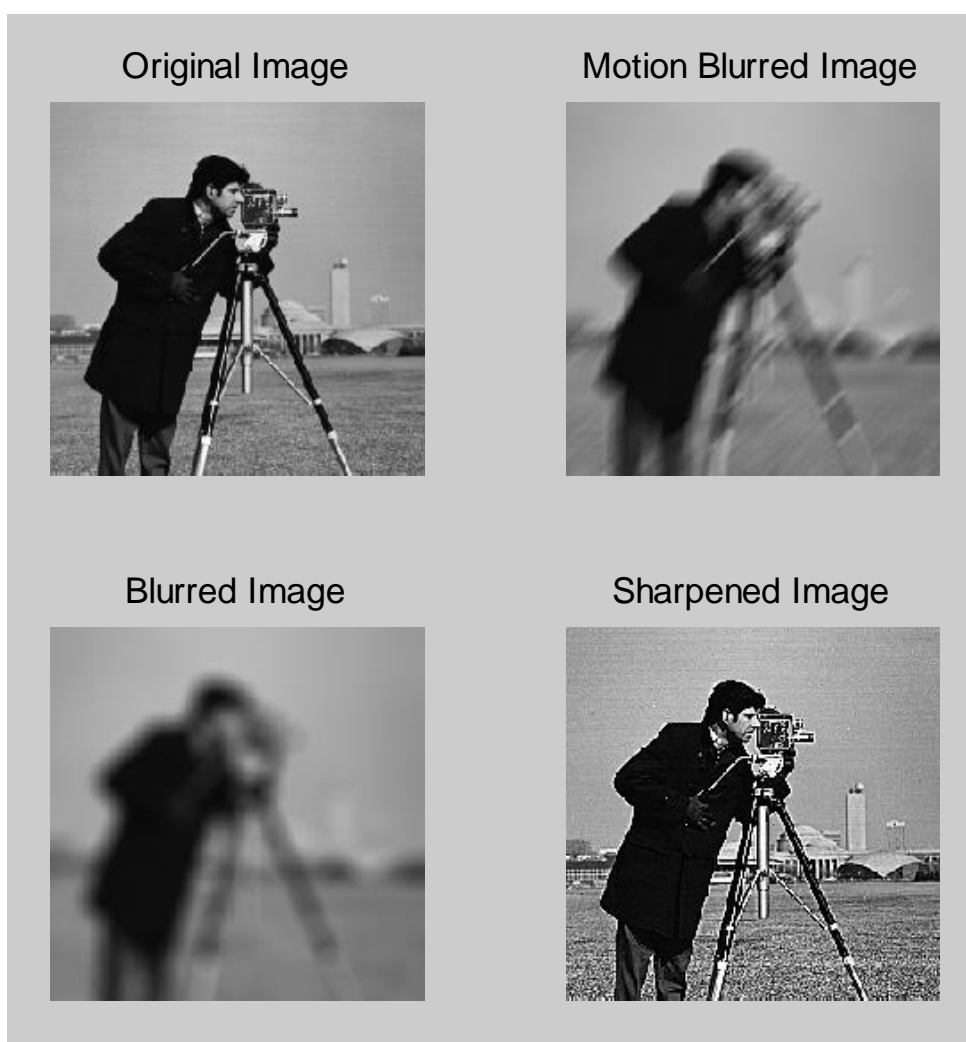
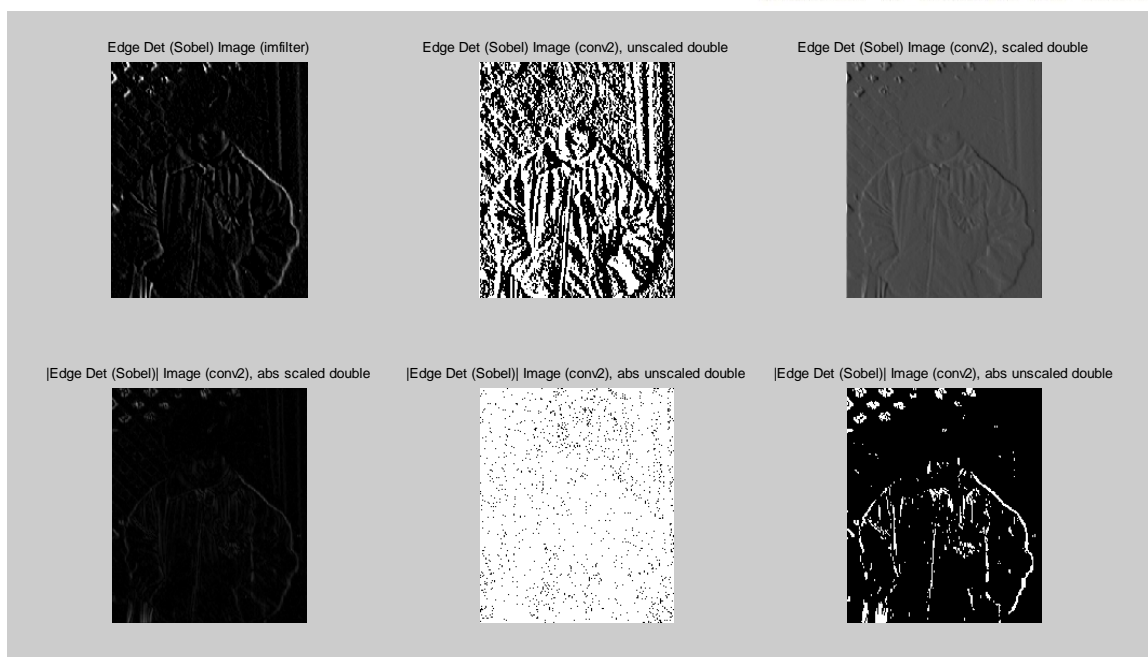
6. נספח

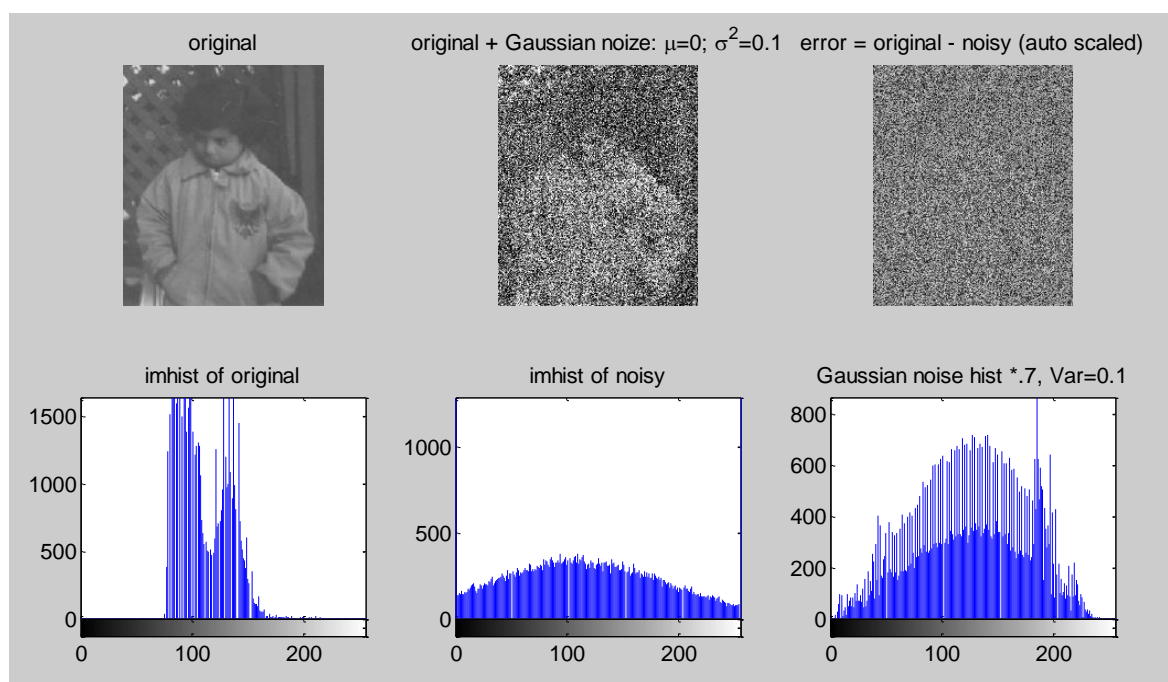
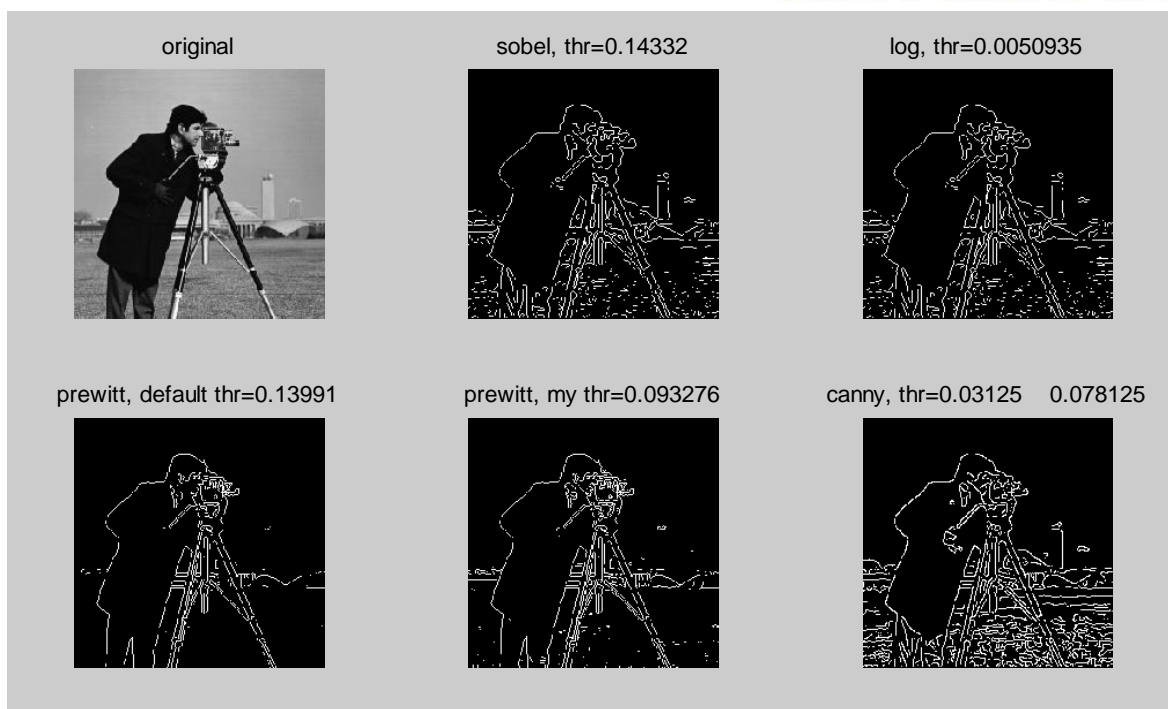
דוגמאות תוצאות רלוונטיות ותמונות שהוצגו \ יוצגו בהדגמות.
(לפי בקשה לדוגמאות של תוצאות, מובאות כאן מספר דוגמאות כנספח, עם כותרות משמעותיות)
קוד חימום:



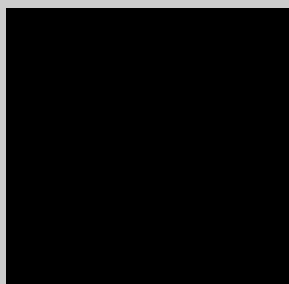
מהלך הניסוי







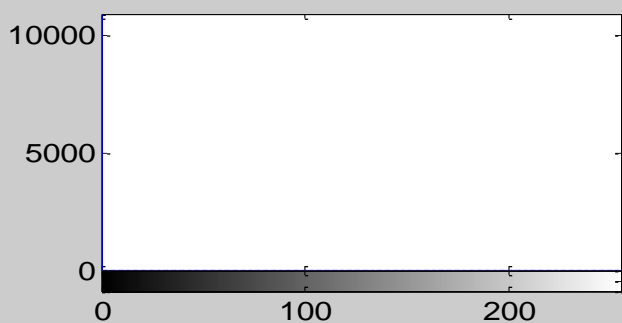
original: zeroes (black)



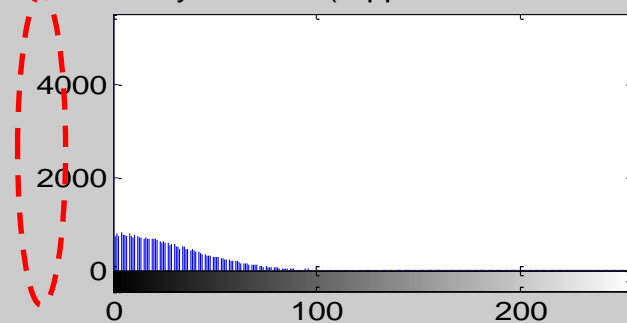
noisy: gaussian, $m=0$, $v=0.02$



imhist of zeros



imhist of noisy - *255!!! (clipped Gaussian distribution)



Median Filtering Example

original



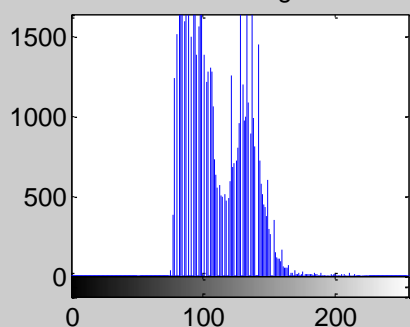
noisy: salt & pepper, 0.1



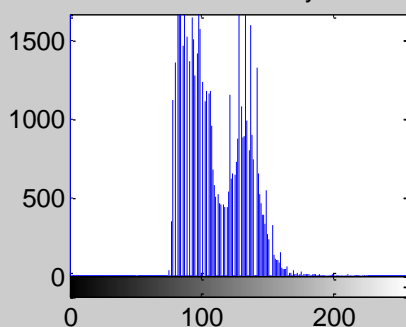
noisy after median filter (3x3)



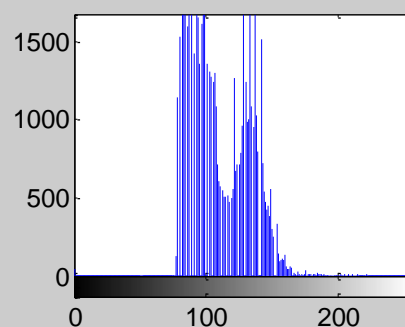
imhist of original



imhist of noisy



imhist after median



Contents

1.....	מטרות ניסוי מס' 1 (מעבדה מס 2-3):
1.....	מבנה מסמך זה:
1.....	0. הנחיות והבהרות כלליות (לא יופיעו בהנחיות הניסויים הבאים, אך תקפות לכל הקורס)
2.....	1. משימות "חימום" (הכנה לניסוי): ישמשו במפגשי המעבדה, כבסיס לעבודה העצמית
2.....	1.1. בניית תמונה – ריבוע בתוך ריבוע, SquareInSquare:
2.....	1.2. ייצור תמונת פסים (stripes_uint8):
3.....	1.3. יצירה והצגה של אותות
3.....	1.3.1. הצגת אות סינוס בפורמטים וטיפוסי משתנים שונים (תרגיל בית מעבדה 0)
3.....	1.3.2. יצירה והצגה של אותות חד מימדיים (1D) בזמן ובתדר
4.....	1.4. קונבולוציה חד מימדית, אות, רעש וסינון חד מימדיים
4.....	1.4.1. רקע
4.....	1.4.2. קונבולוציה חד מימדית
5.....	1.4.3. יצירת אות חד ממדי (רעש) בעל התפלגות נתונה (גאוסית לבנה)
5.....	1.4.4. סינון אות חד ממדי רועש – למפגש השני (אין צורך לבצע למפגש הראשון)
6.....	2. מהלך מפגש המעבדה הראשון + השני
6.....	2.1. חלק 1 – בהירות, ניגודיות ומערכת הראייה האנושית (I)
6.....	2.1.1. מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר (Weber Contrast)
6.....	2.1.2. המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור; – פסי מאך (Mach Bands)
9.....	2.1.3. הבחנה בקונטורים וטישטושם (הדגמה בלבד):
10.....	2.2. חלק 2 – אותות דו מימדיים, ומערכת הראייה האנושית (II)
10.....	יצירה והצגה של אותות חד מימדיים (1D) – נסקרה בתרגיל חימום, סעיף 1.3
10.....	2.2.1. יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)
11.....	2.2.2. כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson
11.....	2.2.2.1. רקע
11.....	2.2.2.2. תרשים Campbell-Robson
12.....	2.2.2.3. הדרכה לבניית תרשים CR
12.....	2.3. חלק 3 – קונבולוציה דו מימדית, סינון מרחבי, רעש בתמונה (III)
12.....	2.3.1. קונבולוציה חד מימדית – ראו תרגיל חימום 1.4
13.....	2.3.2. קונבולוציה דו מימדית
13.....	2.3.2.1. הדגמה; היכרות עם $conv2(h,f)$
13.....	2.3.2.2. דוגמה: שכפול תמונה ע"י קונבולוציה עם מסרק הלמים
14.....	2.3.3. רעש, ושימוש בקונבולוציה בסינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)
14.....	2.3.3.1. כללי
14.....	2.3.3.2. דוגמאות למסננים בתמונה

14.....	מסגרים	2.3.3.3.
15.....	הוספת רעש לתמונה: פקודת imnoise + ניסוי עצמי	2.3.3.4.
15.....	ניסוי עצמי 2.3.3.4: (התוצאה אינה מודגמת)	2.3.3.4.1
16.....	חישוב MSE, SNR, PSNR בין תמונות	2.3.3.4.2
17.....	דו"ח מכין לניסוי והשלמות קוד (לקראת המפגש השני)	3.
17.....	לסעיף 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר	3.1.
17.....	לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור	3.2.
17.....	לסעיף 1.3 יצירה והצגה של אותות (חד מימדיים)	3.3.
17.....	לסעיף 2.2.1 יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)	3.4.
17.....	לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson	3.5.
18.....	לסעיף 2.3 אם לא בוצע במלואו במהלך המפגש הראשון	3.6.
18.....	לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה לצורך סינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)	3.7.
19.....	ביצוע הניסויים (מיועדים לביצוע על ידי הסטודנטים במפגש השני)	4.
19.....	לסעיף 3.1, 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר	4.1.
19.....	לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור	4.2.
19.....	לסעיף 1.3 - יצירה והצגה של אותות חד מימדיים	4.3.
19.....	לסעיף 2.2.1 - יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)	4.4.
19.....	לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson	4.5.
19.....	4.5.1 הנחיות לניסוי:	
19.....	4.5.2 הערות למימוש:	
19.....	לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה לצורך סינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)	4.6.
20.....	דו"ח מסכם לניסוי 1 (להכנה לאחר סיום ביצוע הניסוי במפגש השני)	5.
20.....	לסעיף 2.1.1: מציאת סף הרגישות של העין (JND) לניגודיות, לפי הגדרת וובר	5.1.
20.....	לסעיף 2.1.2: המחשת תכונת הגזירה של העין האנושית, והבחנה בין רמות אפור	5.2.
20.....	לסעיף 1.3 - יצירה והצגה של אותות חד מימדיים	5.3.
20.....	לסעיף 2.2.1 - יצירה והצגה של אותות דו מימדיים (2D)	5.4.
20.....	לסעיף 2.2.2: כושר האבחנה של העין האנושית ותרשים Campbell-Robson	5.5.
20.....	לסעיף 2.3.3: רעש, ושימוש בקונבולוציה לצורך סינון מרחבי בתמונה; סינון סטטיסטי לא לינארי (חציון)	5.6.
20.....	5.7 הוראות כלליות לכל סעיפי הניסוי בכל המפגשים	
21.....	נספח	6.