

תרגיל מחשב מספר 1

הוראות כלליות

1. יש לשמור ולטעון את התמונות שקשורות לתרגיל **בספרייה אחת מעל** הספרייה בה נמצאים קבצי הקוד.
2. יש להימנע ככל האפשר משימוש בלולאות בקוד, ולעשות שימוש בכתיב מטריצי.
3. יש להגיש את כל התרגיל כסקריפט/מחברת יחידה. ניתן ורצוי לממש שאלות או חלקים מהשאלות כפונקציות (לא לשכוח לצרף אותם!!).
4. יש להקפיד לתת כותרת מתאימה לכל תמונה או גרף, וגם לצירים כאשר זה רלוונטי. יש לדאוג שגרפים ותמונות יוצגו בגודל מספק להבנת תוכנם.
5. יש להפריד ויזואלית בין סעיפים שונים בקוד.
6. יש לתעד את הקוד באופן סביר ובמיוחד במקומות בהן מבוצעות פעולות לא טריוויאליות.
7. את התרגיל יש להגיש אלקטרונית **דרך Moodle**, בחלק של "תרגילי מחשב" בצורה הבאה:
יש לשמור את קבצי התרגיל שלכם ללא תמונות קלט/פלט כלשהן, בקובץ ZIP כך:
code1_<ID1>_<ID2>.zip
כאשר <ID1> ו-<ID2> הם מספרי ת.ז. של המגישים. לדוגמה: **code1_012345678_987654321.ZIP**
עבור תרגיל של מגישים בעלי מספרי ת.ז. אלו.
קובץ ה-ZIP הנ"ל יכול את הקבצים הבאים:
א. קובץ readme.txt עם שמות המגישים ותעודות הזהות שלהם.
ב. סקריפט/מחברת הרצת התרגיל וכל יתר הקוד הרלוונטי הנדרש להשגת כל התוצאות.
ג. קובץ PDF יחיד עם תשובות לשאלות התיאורטיות. יש לרשום את פרטי המגיש במסמך.
ד. אין צורך להגיש את התמונות או את קבצי העזר שניתנו לכם.
8. את התרגיל יש להגיש עד **ליום ראשון בתאריך 25.2.2024 בשעה 23:59**.
איחור בלתי סביר בהגשה וללא סיבה מוצדקת יפגע בציון התרגיל.
9. התייעצות עם חברים מותרת ואף מומלצת, אולם את הקוד עליכם לכתוב בצורה עצמאית. הסגל יתייחס בחומרה המקסימלית להעתקות.
10. שאלות לגבי התרגיל ניתן לרשום בפורום המתאים ב-Moodle או במייל.

בהצלחה!

1. פעולות נקודה והיסטוגרמה

- בשאלה זו יש להציג את תמונות המוצא כמו שהן ללא שינוי תחום רמות האפור.

פעולת Power-Law Transformation מוגדרת ע"י הפונקציה $s(r) = cr^\gamma$.

כאשר: r – עוצמת הפיקסל (ערכים ב-[0,1]).

c, γ – קבועים חיוביים.

s – עוצמת הפיקסל לאחר הטרנספורמציה.

א. נרצה לבחון את תכונות הטרנספורמציה. בנו גרף של הפונקציה s עבור ערכי הקבועים $c=1$, $\gamma = [0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 0.67, 1, 1.5, 2.5, 5, 10, 25]$. שימו לב כי יש לנרמל את רמות האפור לתחום [0,1] לפני הטרנספורמציה, ולהחזירם לתחום [0,255] לאחריה. ציינו מה מבצעת הטרנספורמציה עבור $\gamma < 1$, $\gamma > 1$, $\gamma = 1$ ומה השפעתו של הקבוע c .

ב. טענו את התמונה `mri_spine.jpg`. הציגו ובחנו את ההיסטוגרמה שלה. כעת הפעילו את Power-Law Transformation על התמונה. במימושכם, לצורך יעילות חישובית, בנו ראשית LUT (lookup table) של כל ערכי הטרנספורמציה עבור c, γ מסוימים בכל תחום רמות האפור [0,255] והפעילו את הטרנספורמציה על התמונה באמצעות שימוש ב-LUT. מצאו ערכי c, γ שיביאו לתוצאות מיטביות לדעתכם ונמקו. הציגו את תמונת המוצא לצד התמונה המקורית. בחנו את ההיסטוגרמה של תמונת המוצא והסבירו את ההבדלים לעומת ההיסטוגרמה המקורית.

המלצה: לצורך ייעול של תהליך כתיבת הקוד, מומלץ לקרוא ולהבין קודם את הנדרש בסעיפים ג' וד' לה' לפני המימוש בקוד. ניתן לממש פונקציה אחת שתשמש אתכם בסעיפים ג' וד' לה'.

ג. ממשו פונקציה המבצעת יישור היסטוגרמה (histogram equalization) לתמונה. הפעילו פונקציה זו על התמונה `mri_spine.jpg`. הציגו את ה-LUT, את התמונה המתקבלת ואת ההיסטוגרמה שלה. האם אכן קיבלתם פילוג אחיד? הסבירו.

ד. כדי לשפר את תוצאות הסעיף הקודם נרצה לבצע יישור היסטוגרמה רק עבור פיקסלים החל מערך סף מסוים. הסבירו מדוע צפוי שיפור כאשר נעשה זאת. שנו את האלגוריתם של הסעיף הקודם כך שיבצע את היישור רק עבור פיקסלים הגדולים מערך סף T , ואילו פיקסלים הקטנים או שווים לערך הסף יישארו כפי שהם בתמונת המוצא. קבעו ערך סף T המתאים לתמונה, והציגו את התוצאות. השוו לתוצאות סעיפים ב', ג'.

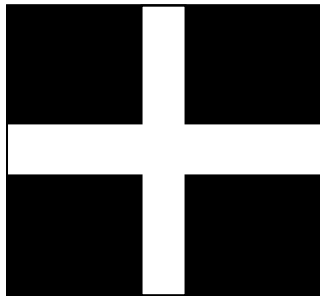
ה. בסעיף זה נרצה לעשות ניסיון נוסף כדי לשפר את תוצאות סעיף ד'. לשם כך נחלק את התמונה ל-9 מלבנים (לאו דווקא שווים בגדלם וצורתם) באופן ידני, במטרה להפריד אזורים כהים לעומת בהירים. נבחן את ההיסטוגרמות שיצאו לנו (סה"כ 9). האם ניתן לקבוע ערכי סף שונים לכל בלוק? אם כן קבעו ערכי סף מתאימים והפעילו את הפונקציה (מסעיף ד') על כל בלוק. האם יש שיפור? האם ישנן תמונות עבורן לא צפוי שיפור?

2. תדר בתמונות

הערה: באיורי העזר הבאים, מוצגים בלבן האזורים הנשמרים בהתמרה.

א. טענו את התמונה Uma.jpg. הציגו את התמונה המקורית ואת התמרת פורייה הדו-ממדית של התמונה (אמפליטודה בלבד - abs).

ב. בחרו את 5% התדרים הנמוכים של התמונה בכיוון x (עם כל התדרים שלהם בכיוון y) ואת 5% התדרים הנמוכים של התמונה בכיוון y (עם כל התדרים שלהם בכיוון x). התדרים השונים מאפס צריכים להיות בצורת "פס" בשני הצירים, כמו באיור (לאחר fftshift):

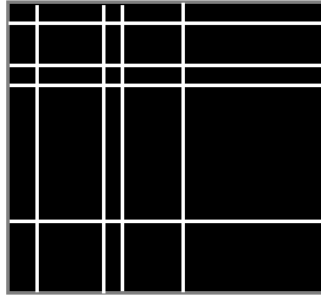


עשו זאת על ידי ע"י איפוס שאר התדרים. הציגו את התוצאה בתחום התדר ואת תמונת ההתמרה ההפוכה של התדרים הנ"ל. שימו לב לערכי התמונה לאחר ההתמרה והציגו אמפליטודה בלבד במידת הצורך.

ג. סכמו את הערכים בעמודות אמפליטודת ההתמרה. בעזרת הפונקציה sort מצאו את מיקומן של 5% העמודות הדומיננטיות - אלו שבהן סכום הערכים הגבוה ביותר.

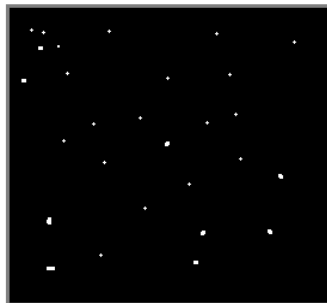
ד. חזרו על אותו תהליך עבור השורות.

ה. בחרו את 5% השורות והעמודות הדומיננטיות של אמפליטודת ההתמרה במלואן. התדרים השונים מאפס צריכים להיות בצורת קווים ישרים בשני הצירים, כמו באיור:



הציגו את התוצאה בתחום התדר ואת תמונת ההתמרה הפוכה של התדרים הנ"ל. שימו לב, גם כאן אנו משתמשים בפחות מ-10% של המידע.
האם הייתם מצפים לקבל תוצאה טובה יותר מאשר סעיף ב'? האם בפועל זה אכן כך? מה אפשר להסיק מכך על חשיבותם של התדרים הנמוכים, מבחינה ויזואלית?

ו. מצאו את 10% התדרים הדו-ממדיים הדומיננטיים של התמונה, ז"א התדרים שעבורם אמפליטודת ההתמרה הינה מקסימלית, ובחרו אותם (שוב, ע"י איפוס יתר התדרים). התדרים השונים מאפס צריכים להיות מפוזרים, כמו באיור:



הציגו את התוצאה בתחום התדר ואת תמונת ההתמרה הפוכה של התדרים הנ"ל. מהו ההבדל המהותי בין סעיף זה ובין מה שעשינו בסעיף ה'?

3. הזזה וסיבוב במקום

הערה: בשאלה זו אסור להשתמש בפונקציית ספריה המבצעת אינטרפולציה או בפונקציית סיבוב תמונות. ניתן לבצע הזזת תמונה בחלקי פיקסלים ע"י שימוש באינטרפולציה בילינארית. באינטרפולציה זו, כאשר מתקבלים ערכי אינדקסים לא שלמים. משתמשים בסכום משוקלל של ארבעת הפיקסלים הסמוכים לנקודה לא שלמה. החישוב מתבצע באופן הבא:

$$(*) \quad g(x, y) = [1 - \alpha, \alpha] \begin{bmatrix} f(i, j) & f(i, j+1) \\ f(i+1, j) & f(i+1, j+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - \beta \\ \beta \end{bmatrix}$$

כאשר α ו- β הם קבועים בקטע $[0,1]$ המהווים את החלק הלא שלם באינדקס.

א. כתבו פונקציה המבצעת הזזה ב- $[dx, dy]$ בעזרת אינטרפולציה בילינארית, כאשר ידוע כי dy, dx בקטע $[0,1]$.

ב. היעזרו בפונקציה שמימשתם בסעיף א' כדי לממש פונקציה אשר מזיזה את התמונה באינדקס לא שלם כלשהו $[dx, dy]$ (לאו דווקא בקטע $[0,1]$).

ג. טענו את התמונה cameraman.jpg והפכו אותה לתמונת אפור בקטע $[0,1]$. הפעילו את הפונקציה שממשתם בסעיף ג' על תמונת האפור עם $[dx, dy] = [170.3, 130.8]$.

הערה: שימו לב כי גודל התמונה לא אמור להשתנות כתוצאה מהאינטרפולציה הבילינארית.

כעת טענו את התמונה Brad.jpg בעזרת הפקודה imread.

ד. צרו מסכה אשר מכילה את הערך 1 בפנים ואת הערך 0 בחוץ. המסכה תהיה בצורה של חצי עיגול תחתון סביב פני הדמות. קראו למסכה זו mask1 והציגו אותה.

ה. הציגו את התמונה רק במקומות שבהם ערך המסכה הוא 1. תמונה זו תקרא brad_win.

ו. מטריצת ההעתקה הדרושה כדי לסובב תמונה בזווית כלשהי α היא $\begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$. כתבו פונקציה

אשר מקבלת תמונה כלשהי ומסובבת אותה בזווית α סביב מרכז התמונה. שימו לב שכאשר מבצעים את הסיבוב ע"י מעבר על כל האינדקסים בתמונת המקור יהיו מקרים בהם יהיו אינדקסים בתמונת הסיבוב שלא יקבלו כל ערך, ולכן ייווצרו חורים בתמונה המסובבת. לכן, על מנת לכסות את כל הפיקסלים בתמונה החדשה יש להשתמש במטריצה ההפכית למטריצת ההעתקה שיצרתם, ולמצוא את ערך המקור על פי היעד. במקרה

שבו מתקבלים אינדקסים לא שלמים יש לעגל אותם לערכים השלמים הקרובים ביותר (nearest neighbor). הפעילו את הפונקציה על התמונה של brad_win. השתמשו בזוויות 0° , 45° ו- 90° . הציגו את התוצאות. מהן הבעיות המתקבלות בתמונה המסובבת ומדוע?

ז. כעת נעזר באינטרפולציה ביליניארית בתהליך סיבוב התמונה. שוב השתמשו במטריצת ההעתקה שמצאתם בסעיף הקודם. כעת, כאשר מתקבלים ערכי אינדקסים לא שלמים, השתמשו בסכום משוקלל של ערכי ארבעת הפיקסלים הסמוכים לנקודה שמצאתם לפי נוסחה (*) שבתחילת השאלה. השווו לתוצאות שקיבלתם בסעיף הקודם. איזו תוצאה טובה יותר ומדוע? האם ישנם מקרים בהם זה לא משנה?

4. משמעות הפאזה והאמפליטודה בתמונות

א. טענו את התמונות Anna.jpg ו-cat.jpg והציגו אותן. חשבו את התמרת הפורייה הדו-ממדית של התמונות. חשבו את הפאזה והאמפליטודה של כל תמונה. הציגו את תמונות האמפליטודה המתקבלות. (השתמשו ב-fftshift כדי להביא את התדרים הנמוכים למרכז, רק לצורך הצגת התמונה - זכרו לקרוא לפונקציה זו שוב לאחר ההצגה).

הערה: חישוב פאזה ע"י $\text{phase_image} = \text{angle}(\text{fft_image})$ ואמפליטודה ע"י $\text{amp_image} = \text{abs}(\text{fft_image})$.

ב. יצרו את שתי התמונות הבאות: תמונה הנוצרת מהערך המוחלט של Anna עם הפאזה של cat ותמונה הנוצרת מהערך המוחלט של cat עם הפאזה של Anna. בצעו את ההתמרה ההפוכה והציגו את התמונות המתקבלות. איזו תמונה דומה יותר ל-Anna?

ג. יצרו את שתי התמונות הבאות: תמונה הנוצרת מערך מוחלט המוגרל אקראית (שימו לב לטווח הערכים!) עם הפאזה של Anna ותמונה הנוצרת מהערך המוחלט של Anna עם פאזה המוגרלת אקראית. הציגו את התמונות והסבירו.

ד. מה מבין הפאזה והאמפליטודה חשוב יותר באינפורמציה של התמונה? מדוע לדעתכם?

5. חידוד שפות בתמונה רועשת

נטען כי המסנן $\delta - a\nabla^2 = \begin{pmatrix} 0 & -a & 0 \\ -a & 1+4a & -a \\ 0 & -a & 0 \end{pmatrix}$ מבצע חידוד שפות לתמונה. a הינו פרמטר הנע בתחום $[0,1]$, כאשר –

$$Laplacian = \nabla^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \delta = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- א. טענו את התמונה Inigo.jpg והפעילו עליה את המסנן עבור מספר ערכי a . במוצא המסנן יש לבצע Clipping לערכים החורגים מ- $[0,255]$.
 - מצאו את ערך a הנותן את התוצאה האופטימלית עבור התמונה לדעתכם. הציגו את התוצאה.
 - הסבירו מדוע מסנן זה מבצע פעולה של חידוד שפות, ומה תפקיד הפרמטר a .
- ב. נסו שני ערכי a הגדולים מ-1. הציגו את התוצאות והסבירו מה התקבל. האם יש תופעות לא רצויות?
- ג. כעת הוסיפו לתמונה רעש Salt & Pepper בצפיפות 4% (העזרו ב-random), וחזרו על פעולת חידוד השפות. הציגו את התוצאה עבור $a = 0.2, 0.7$ והסבירו מדוע התקבל הגבר של הרעש.
- ד. הציעו דרך לשיפור התהליך של חידוד שפות בתמונה מורעשת, כאשר ידוע כי הרעש הינו מסוג Salt & Pepper. ממשו את הצעתכם והציגו את התוצאות עבור $a = 0.2, 0.7$.
- ה. חזרו על סעיפים ג'-ד' עבור רעש פואסוני (Shot noise). הציגו את התוצאות והסבירו.
- ו. מהם ההבדלים בין רעש פואסוני לרעש גאוס? פרטו.