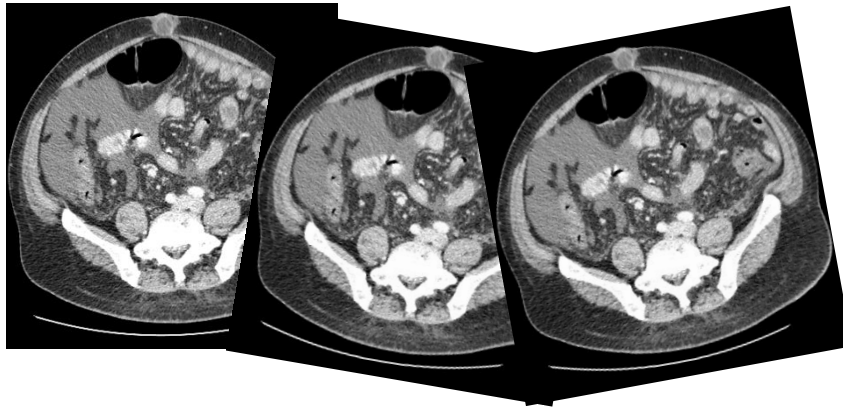


עבודה מספר 2 בקורס עיבוד תמונות רפואיות 67705

נושא: רגיסטרציה

פרופ' ליאו יוסקוביץ - סמסטר א' תשע"ח

מתרגל: שסקין עדי adi.szeskin@mail.huji.ac.il



כללי

1. הגשת התרגיל היא ביחידים.
2. לעבודה זו שני חלקים בשני מועדי הגשה: החלק הראשון יוגש עד **3/1/2018** והחלק השני עד **17/1/2018**. את הציון תקבלו רק לאחר ההגשה השנייה.
3. בכל הסעיפים יש להניח כי שתי התמונות אשר עוברות רגיסטרציה הן באותו גודל בפיקסלים וכל פיקסל בעל אותם מימדים בכל הצירים.
4. על מנת לאפשר תרגול יעיל של החומר הנלמד סופקו לכם פונקציות עזר בקובץ `utils.py`.
5. את קוד ההרצה שלכם יש לכתוב אך ורק תחת הקבצים הנקראים `part[#]_id[#].py`.
6. יש להקפיד על הגשה מסודרת (10% מהציון בתרגיל): כותרות לגרפים, תיאורים ויחידות לצירים וגדלים נכונים בסקאלות הצירים.
7. עליכם להגיש דו"ח ובו תשובות לשאלות המילוליות ו/או עם תמונות בסעיפים בהם התבקשתם לכך. לנוחותכם, שאלות מילוליות וסעיפים בהם נדרש צירוף תמונה מסומנים בסו תחתון. בנוסף, עליכם להגיש את הקוד שכתבתם.
8. מבנה ההגשה: לכל אחד משני החלקים יש להגיש קובץ `zip` אחד. שם הקובץ יהיה `<id>_ex2_part#.zip` כאשר # הוא מספר החלק ו-`<id>` הוא תעודת הזהות כולל ספרת ביקורת. בתוך כל קובץ יימצא הדו"ח תחת השם `ex2_part#.pdf`. הדו"ח יכיל את שם המגיש, `login` ות"ז.
9. את הקבצים יש להעלות דרך המודל.

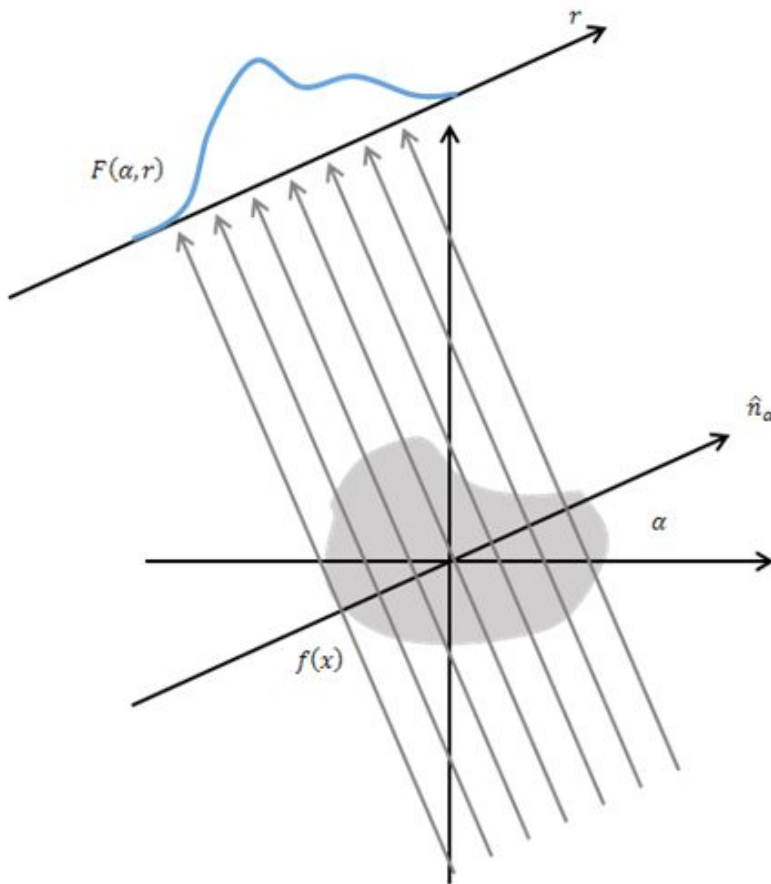
מבוא

באופן כללי, בין שתי סריקות של אותו פציינט בזמנים שונים אין התאמה טובה. בין שני מועדי הסריקה הפציינט נשם, זז, ואולי גם בילה כמה חודשים בבית. למרות זאת, לעיתים קרובות נרצה שהתמונות יהיו בהתאמה מושלמת, לצרכי השוואה ומעקב, או לטובת טיפול מונחה הדמייה (הקרנה, החדרת מחט) בנקודה הנכונה ע"פ תוכנית טיפול שגובשה על גבי תמונת הסריקה הראשונה. אם האיבר שמעניין אותנו הוא קשיח, כמו המוח לדוגמא, אזי ניתן למצוא את התנועה הזו בעזרת רגיסטרציה ריגידית.

רגיסטרציה ריגידית היא תהליך של מציאת סיבוב והזזה בין זוג תמונות. לפיכך בתמונות תלת מימדיות, כמו MRI או CT למשל, רגיסטרציה ריגידית מאופיינת בשישה פרמטרים: שלושה פרמטרי הזזה, ושלוש זוויות סיבוב. סט של הזזות וסיבובים כאלו נקרא "טרנספורמציה". בתהליך רגיסטרציה אנו מחפשים את הטרנספורמציה בין שתי תמונות, ולעיתים אנו נדרשים גם להפעיל את הטרנספורמציה על אחת התמונות על מנת ליישר אותה כלפי התמונה השנייה.

אלגוריתמים למציאת רגיסטרציה ריגידית מתחלקים באופן כללי לשני סוגים: מבוססי תמונה, או מבוססי נקודות עניין. באלגוריתמים מבוססי נקודות עניין אנו תחילה מזהים אזורים קטנים בשתי התמונות שמתאימים האחד לשני, כלומר מייצגים כנראה את אותה נקודה באיבר הנסרק. ברגע שיש לנו מספיק התאמות כאלה ניתן לחשב את הטרנספורמציה. באלגוריתמים מבוססי תמונה עושים את ההיפך: תחילה מנחשים טרנספורמציות כלשהן, מפעילים אותן על התמונות (כלומר מיישרים תמונה אחת כלפי השנייה), ואז מודדים את הדמיון בין התמונות אחרי היישור, ובחרים את הטרנספורמציה בעלת הדמיון החזק ביותר. לעיתים קרובות אלגוריתמים כאלו הם איטרטיביים, כלומר הם משתמשים בטרנספורמציה טובה על מנת למצוא טרנספורמציה טובה יותר וחוזר חלילה. אנו נקדיש חלק מהתרגיל לכל סוג. בנוסף, שאלה אחת תוקדש לרגיסטרציה של תמונות CT במישור ראדון, גישה המשלבת עקרונות משתי השיטות.

בחלק זה נמצא רגיסטרציה ריגידית בין סריקות דו מימדיות במישור ראדון, כלומר מתוך הסינוגרמה של תמונות CT. בסריקת CT של פרוסה אחת, מקור קרני רנטגן מסתובב סביב גוף המטופל ומקליט את טרנספורמצית ראדון, או סינוגרמה, של ערכי הבליעה ברקמה שבין המקור לגלאי. כפי שלמדנו, אלגוריתמים שונים כגון algebraic reconstruction, filtered backpropagation מאפשרים לבצע טרנספורם ראדון הופכי ולשחזר את התמונה שזהו טרנספורם ראדון שלה. לאחר מכן, בין תמונות של אותו מטופל מסריקות שונות ניתן למצוא רגיסטרציה בשיטות אותן בחנו בחלק 1. החיסרון של שיטת דימות זו הוא בחשיפת המטופל לקרינת רנטגן במינונים גבוהים. בחלק זה נתעניין דווקא בביצוע חישובי רגיסטרציה על הסינוגרמה עצמה, וזאת מהטעם הבא: אם נוכל למצוא רגיסטרציה בין סריקות CT תוך שימוש בחלק מזערי מהמידע שבסינוגרמה מהסריקה השנייה, הרי שכמות קרינת הרנטגן המזיקה אליה נחשף המטופל בסריקה השנייה יכולה תיאורטית לרדת באופן משמעותי. מכיוון שאין לנו צורך ברוב המידע מהסריקה השנייה לצורך ביצוע הרגיסטרציה, אין לנו צורך בסריקת המטופל מכל כיוון אפשרי אלא רק ממספר קטן של כיוונים.

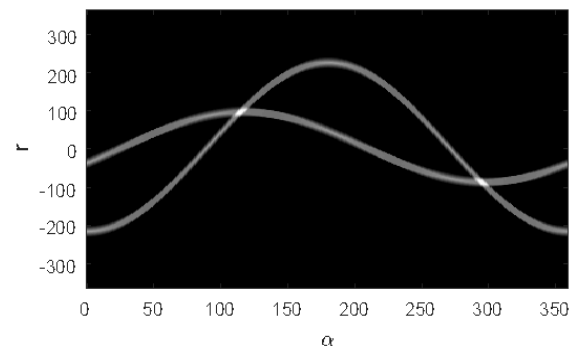
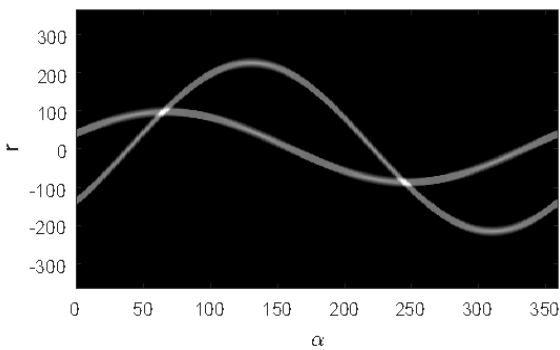
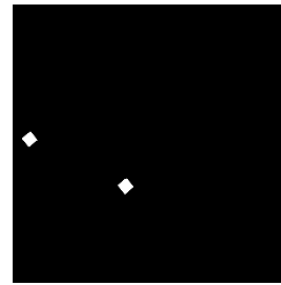
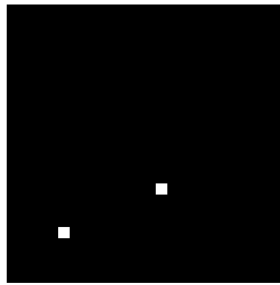


כפי שראיתם בכיתה, טרנספורם ראדון מוגדר ע"י אינטגרל קווי במישור:

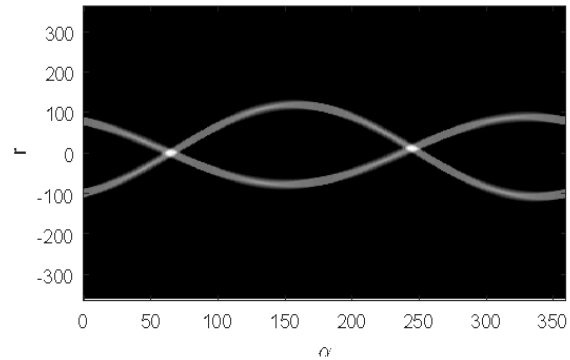
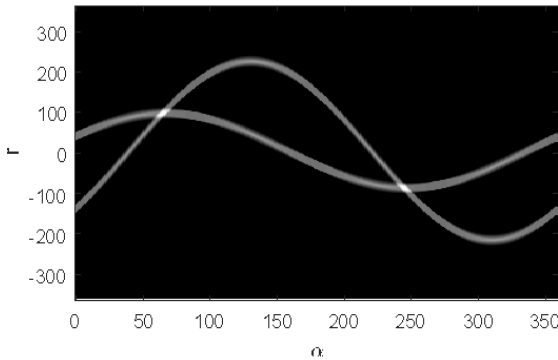
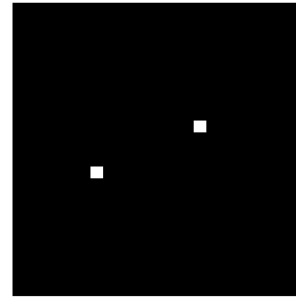
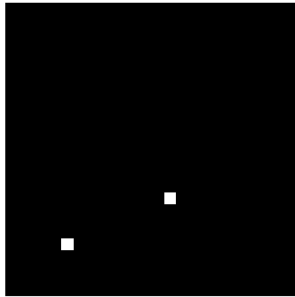
$$F(\alpha, r) = \int_{l(\alpha, r)} f(x) dl$$

כאשר f היא תמונה דו מימדית, F טרנספורם ראדון שלה, x קורדינטה דו מימדית בתמונה, α היא קורדינטת זווית ההיטל של טרנספורם ראדון, r קורדינטת ההיסט של טרנספורם ראדון. \hat{n}_α הוא וקטור הנורמל לכיוון קו ההטלה, dl הוא האינטגרנד על הקו $l(\alpha, r) : x \cdot \hat{n}_\alpha = r$.

קיים קשר אנליטי בין טרנספורם ראדון של תמונות f, g שיש ביניהן טרנספורמציה ריגידית. כדי לראות זאת נתבונן בדוגמה הבאה, בה קיים סיבוב בלבד בין שתי התמונות:



בין שתי התמונות בשורה העליונה קיים סיבוב של 50 מעלות, ובין הסינוגרמות שלהן בשורה התחתונה קיים הקשר הבא: אחת היא הזזה ציקלית בציר α (הציר האופקי) של השנייה ב-50 מעלות. כעת נתבונן בדוגמה בה בין שתי התמונות קיים קשר של הזזה בלבד. ניתן לראות שאין הזזה בסינוגרמות בציר α האופקי, אך יש הזזה בציר z האנכי, שגודלה משתנה עם הזווית α :



עבור טרנספורמציה ריגידית המשלבת סיבוב וגם הזזה, כלומר $g(x) = f(R_\theta x + \Delta)$ כאשר $R_\theta \in R^{2 \times 2}$ היא מטריצת סיבוב בזווית θ נגד כיוון השעון, Δ וקטור הזזה דו מימדי, ניתן להוכיח כי הקשר האנליטי הבא מתקיים בין הסינוגרמות F, G :

$$G(\alpha, r) = F(\alpha + \theta, r - \delta_\alpha)$$

כלומר, ההיסט בציר α הוא בדיוק θ , וגודל ההיסט δ_α בציר r תלוי בזווית ההטלה α דרך השוויון: $\delta_\alpha = \Delta \cdot \hat{n}_\alpha$.

כעת נתאר אלגוריתם למציאת פרמטרי הרגיסטרציה הריגידית θ, Δ (שלושה פרמטרים סה"כ):

• לכל זווית α בצע:

- בחר את G_α , העמודה המתאימה לזווית הטלה α מתוך הסינוגרמה G
- מצא מתוך כל עמודות F את העמודה $F_{\alpha'}$ עבורה מתקבל ציון קורלציה הטוב ביותר עם G_α , כולל היסט δ של $F_{\alpha'}$ בציר r , כלומר:

$$\alpha', \delta = \operatorname{argmax} \operatorname{CrossCorrelation}(G_\alpha, T_\delta F_{\alpha'})$$

כאשר T_δ אופרטור ההסטה ב- δ .

○ שמור את המדידה $(\alpha, \alpha', \delta)$

- חשב היסטוגרמה של הערכים $\alpha - \alpha'$ מתוך סט המדידות ובחר את המקסימום כדי למצוא את θ
- פתור את מערכת המשוואות הלינארית $\{\delta = \Delta \cdot \hat{n}_\alpha\}$ - משוואה אחת לכל מדידה, כאשר הנעלם המופיע בכל המשוואות הוא Δ .

נשים לב לפרטים הבאים:

- אין צורך אמיתי לבצע את התהליך עבור כל זווית α - די לנו ב-2 זוויות שונות על מנת לפתור מערכת משוואות בשני נעלמים. עם זאת, כדי לשפר את הדיוק, ולהתגבר על רעש נומרי ו-outliers, עלינו לקחת מספר גדול יותר של זוויות, אך כמובן שמספר זה לא מתקרב לגודל סט הזוויות הנדרש על מנת לשחזר את התמונה מתוך הסינוגרמה.
- הפחתה זו במספר הזוויות היא המאפשרת את החיסכון בקרינת רנטגן, שכן כל זווית הטלה שלא סרקנו משמעותה הפחתת כמות הקרינה בסריקה השנייה.
- קרוס-קורלציה מבוצעת על וקטורים חד מימדים שהם עמודות מתוך הסינוגרמה, כאשר אחד מהווקטורים מוסט ביחס לאחר כדי למצוא את ההיסט שנותן את הקורלציה הטובה ביותר.
- פתרון מערכת משוואות בה מספר המשוואות גדול ממספר הנעלמים נעשה ע"י מזעור השגיאה הריבועית, כלומר פתרון מערכת המשוואות $Ax = b$ מתקבל ע"י $x^* = \operatorname{argmin} \|Ax - b\|_2^2$ (וקיים לבעיית האופטימיזציה הזו פתרון אנליטי).

1. (30%) ממשו פונקציה

```
[rotation_ccw_deg, translation_pixels] = radon_register(fixed_sinogram, fixed_angles_deg, moving_sinogram,
moving_angles_deg)
```

כך ש-`fixed_sinogram`, `moving_sinogram` הן סינוגרמות של שתי תמונות שחושבו בעזרת הפונקציה של `radon` על הזוויות `fixed_angles_deg`, `moving_angles_deg` בהתאמה. הפונקציה מחזירה את הסיבוב והזזה שנמצאו ע"י האלגוריתם לרגיסטרציה ריגידית במישור ראדון שתואר למעלה. כאן `fixed` מקבילה ל- F ו-`moving` מקבילה ל- G .

פונקציות מועילות לחלק זה: `xcorr`, `mldivide`.

- `mldivide`

`a\b` | `linalg.solve(a,b)` if `a` is square; `linalg.lstsq(a,b)` otherwise | solution of $ax = b$ for x

2. (10%) ממשו פונקציה

```
show_radon_registration(img1, rotation_ccw_deg, translation_pixels, num_angles)
```

המבצעת את הפעולות הבאות:

- מייצרת מ-`img1` תמונה `img2` באותו גודל ע"י סיבוב נגד כיוון השעון ואז הזזה
- מחשבת את הסינוגרמה של `img1` עבור וקטור של זוויות `0:1:179`
- מחשבת את הסינוגרמה של `img2` עבור וקטור של זוויות באורך `num_angles` ברווחים שווים בתחום `[0,180]` (שימו לב שהטלה בזווית 180 מעלות זהה ל-0 מעלות עד כדי היפוך)
- קוראת לפונקציה מסעיף א'
- מבצעת על `img2` טרנספורמציות רגיסטרציה בעזרת התוצאות
- מציגה את שתי התמונות זו על גבי זו לפני ואחרי הרגיסטרציה.

מומלץ להעזר בפונקציה warp כדי לבצע סיבובים/הזזות/רגיסטרציות ו AffineTransform.

3. (5%) הציגו את התוצאות מהסעיף הקודם עבור תמונה phantom, ועבור תמונת CT המצורפת לתרגיל (ממטלה א' סעיף 1 - יש לנרמל את הערכים כך שהאוויר יהיה בעל רמת אפור אפס). הסבירו בקצרה את המימוש שלכם לאלגוריתם המוצע, הרחיבו על שיפורים שהוספתם ככל שישנם (למשל סינון outliers).

data can be found in:

https://drive.google.com/open?id=1VMrOWytM4n_KM-SCYo4MDeZ5CA9XKuiu