



האוניברסיטה העברית בירושלים
THE HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM

קורס SLAM ניווט מוידאו 67604 – תרגיל 5

דור מסיקה, ת.ז. 318391877
רון קוברובסקי, ת.ז. 322875907

קישור לגיט של התרגיל:

https://github.com/Dor890/SLAM/blob/main/VAN_ex/code/Ex5/ex5.py

1. נבחר Track באורך לפחות 10, ולכל הפריימים המשתתפים בו נגדיר gtsam.StereoCamera על ידי שימוש במטריצות המצלמה הגלובליות שהגדרנו בתרגיל 3 באמצעות PnP.

עבור מטריצה אקסטרניזית $[R, t]$, מה תהיה הטרנספורמציה ממערכת הקואורדינטות של המצלמה למערכת הקואורדינטות הגלובלית?

כפי שלמדנו, המטריצה האקסטרניזית של מצלמה, המסומנת באמצעות $[R, t]$, ממפה נקודות בקואורדינטות של נקודות מהעולם לקואורדינטות של המצלמה. כדי לחשב את הטרנספורמציה ההפוכה, כפי שגם עלינו לחשבה על מנת להשתמש ב-GTSAM, נגדיר את הנקודה X_w עבור נקודת תלת מימד בקואורדינטות של העולם, ואת הנקודה X_c עבור נקודת תלת מימד בקואורדינטות של המצלמה. כעת, מכיוון שעלינו לדרוש כי

$$[R|t]_{3 \times 4} * \begin{bmatrix} X_w \\ 1 \end{bmatrix} = X_c$$

כלומר

$$RX_w + t = X_c$$

כאשר $\begin{bmatrix} X_w \\ 1 \end{bmatrix}$ זהו ייצוג של הנקודה X_w בקואורדינטות הומוגניות. לכן, מהעברת אגפים ובידוד X_w נקבל כי

$$X_w = R^T(X_c - t) = R^T X_c - R^T t$$

כלומר בסך הכל מתקיים כי

$$X_w = [R^T | -R^T t] \begin{pmatrix} X_c \\ 1 \end{pmatrix}$$

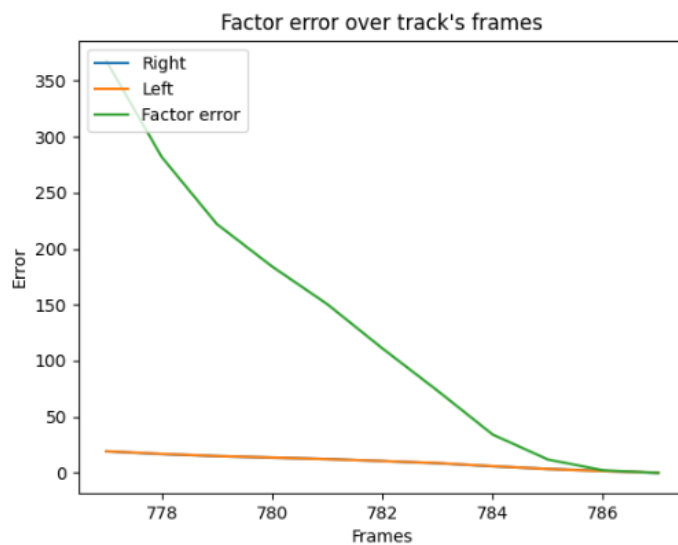
כלומר עבור מטריצה נתונה $[R, t]$, הטרנספורמציה הדרושה הינה המטריצה $[R^T | -R^T t]$.

- באמצעות השימוש במתודות של StereoCamera, נבצע טריאנגולציה של נקודת תלת מימד בקואורדינטות הגלובליות מהפריים האחרון של ה-Track, ונטילה אותה על כל הפריימים ב-Track (הן על המצלמות השמאליות והן על הימניות).

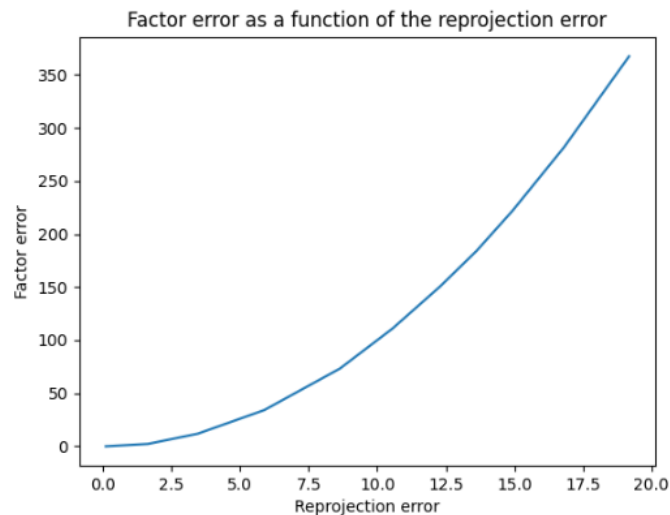
נציג גרף עבור ה-reprojection error size (בנורמת L2) מעל התמונות של ה-Track.



ניצור Factor error לכל הטלת פריים ונציג גרף של ה-Factor error עבור כל הפריימים ב-Track.



נציג גרף עבור ה-Factor error כפונקציה של ה-Reprojection error.



כפי שראינו בהרצאה, השגיאה של פקטור מוגדרת על ידי

$$e(x) = \|f(x) - z\|_{\Sigma}^2$$

בנוסף, מכיוון שמטריצת השוניות שהגדרנו עבור כל GenericStereoFactor3D היא מטריצת היחידה בגודל 3×3 , נקבל שהשגיאה היא הנורמה של שגיאת ההטלה בריבוע, ועל כן היחס הוא ריבועי.

2. הבאנדלון הראשון יכלול את שני ה-keyframes הראשונים, יחד עם כל הפריימים ביניהם ועם כל הדאטה הרלוונטי. כל האובייקטים באותה bundle optimization צריכים להיות באותה מערכת קואורדינטות.

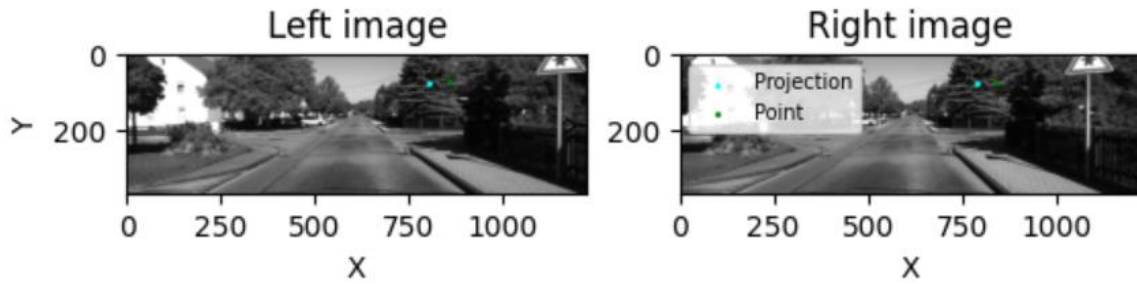
נדפיס את שגיאת ה-Factor graph הכוללת לפני ואחרי תהליך האופטימיזציה.

השגיאה לפני התהליך: 344048.2358.

השגיאה אחרי התהליך: 46.95460.

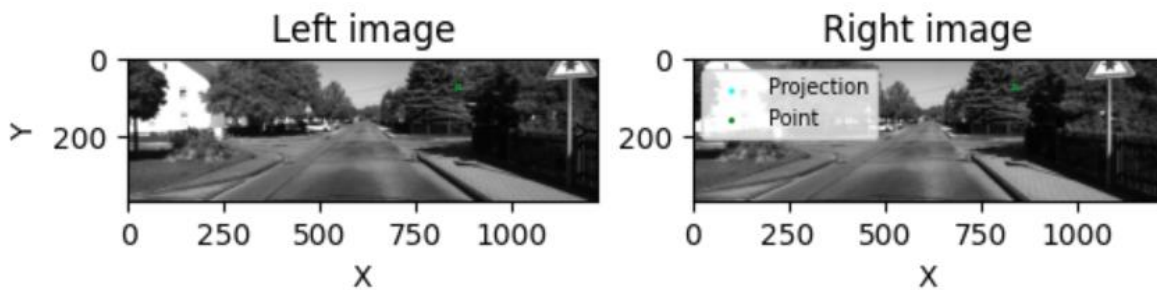
נבחר projection factor בין פריים c ונקודת תלת מימד q. נאתחל StereoCamera עם pose התחלתי עבור c, ונשתמש בכך כדי להטיל את המיקום ההתחלתי של q. כעת, נציג את ההטלות הימניות והשמאליות על שתי התמונות, יחד עם המדידה.

השגיאה ההתחלתית של הפקטור: 2703.7675.

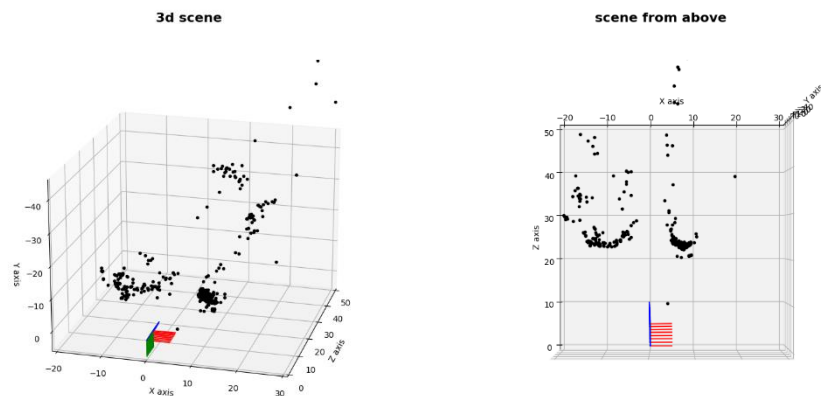


נחזור על כל התהליך הנ"ל עבור הערכים הסופיים (שעברו תהליך אופטימיזציה) של c ושל q .

השגיאה של הפקטור לאחר תהליך האופטימיזציה: 0.0048.



נציג כעת את המיקומים הסופיים המתקבלים עבור הבאנדל הראשון כגרף תלת מימד, ובנוסף כמבט מלמעלה (דו מימד) של הסצנה, יחד עם כל המצלמות והנקודות.



3. נבחר כעת את כל ה-Keyframes ונפתור עבורם את כל ה-Bundle Windows. בכל באנדל נשתמש במערכת הקואורדינטות של הפריים הראשון של הבאנדל, כך

שהחישוב יהיה יחסי. נבצע טרנספורמציה לערכים ההתחלתיים למערכת הקואורדינטות הזו.

עבור ה-bundle window האחרון נדפיס את המיקום הסופי של הפריים הראשון של הבאנדל הזה ואת ה-anchoring factor final error. למה זהו ה-error?

המיקום הסופי של הפריים הראשון של הבאנדל האחרון:

```
Final position of the first frame = R: [
  1, -1.16581e-16, -1.78939e-15;
 -1.1601e-16, 1, -3.71136e-16;
 -1.79522e-15, -3.68684e-16, 1
]
t: 2.9471e-13 2.89412e-14 -5.635e-11
```

כפי שנוכל לשים לב, מדובר במטריצה שעד כדי טעות נומרית זוהי בעצם מטריצת היחידה (1 על האלכסון הראשי של R, ו-t וקטור של אפסים).

נחשב את ה-anchoring factor final error, כלומר כפי שמתבקש מדובר בשגיאת פקטור הקיבוע של אותו באנדלון לאחר תהליך האופטימיזציה.

נראה שערך השגיאה בעצם שווה לאפס, שכן קיבלנו כי שערך השגיאה הוא

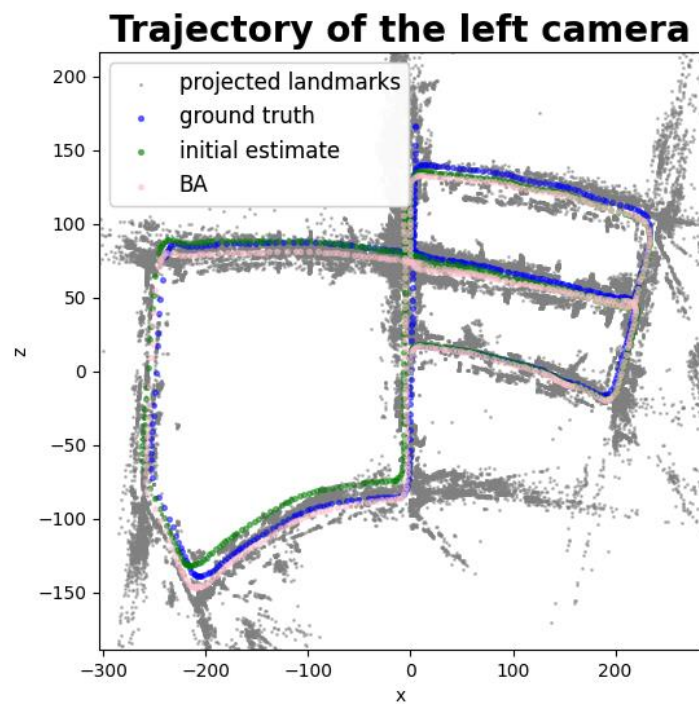
```
Final error = 1.5669148199728092e-21
```

הסיבה שאנו מוסיפים את ה-Prior factor הזה לכל באנדלון היא כדי לקבל את דרגות החופש שיש לנו. כלומר, אנחנו יכולים לשים את המצלמה הראשונה בכל מקום וזה לא ישנה לנו את הפתרון. כעת, אם האלגוריתם לא ישים בסופו של דבר את המצלמה במיקום שאנו דורשים ממנו, הוא יאלץ לשלם על כך, ובעצם אין שום דבר שמונע ממנו לשים אותה בנקודה זו, ולכן הוא יעדיף לעשות זאת ובכך לא להגדיל את השגיאה.

נוציא את ה-pose היחסי בין כל keyframe וזה העוקב שלו (R,t). נחשב את ה-pose האבסולוטי של keyframes במערכת הקואורדינטות הגלובלית (frame 0).

נציג מבט מלמעלה (דו מימד) של הסצינה, יחד עם כל ה-keyframes (רק המצלמות השמאליות) ונקודות התלת מימד. נכסה את ה-keyframes המשוערכים עם ה-Ground Truth poses של ה-keyframes.

החלטנו להוסיף גם את המיקומי ה-keyframes של ה-initial estimates, לצורך השוואה עד כמה שיפר האלגוריתם את הביצועים.



נציג את ה-keyframe localization error במטרים (הפרש על ידי מרחק אוקלידי) במשך הזמן.

