

«*In The Name Of GOD*»



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

## [Project-02-Report]

[3D COMPUTER VISION]

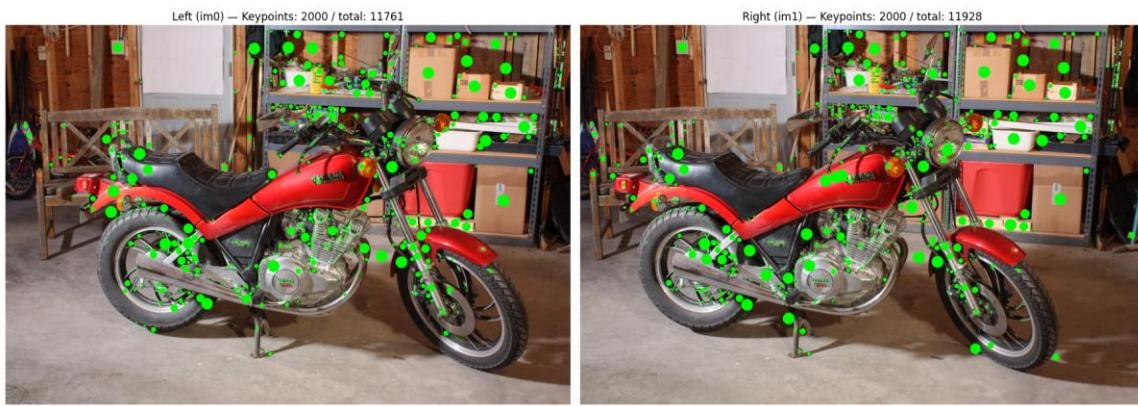
Hasan Masroor | [403131030] | November 30, 2025

## Project #2: Two-View Geometry and Epipolar

### 1. Image Pair Selection and Feature Detection

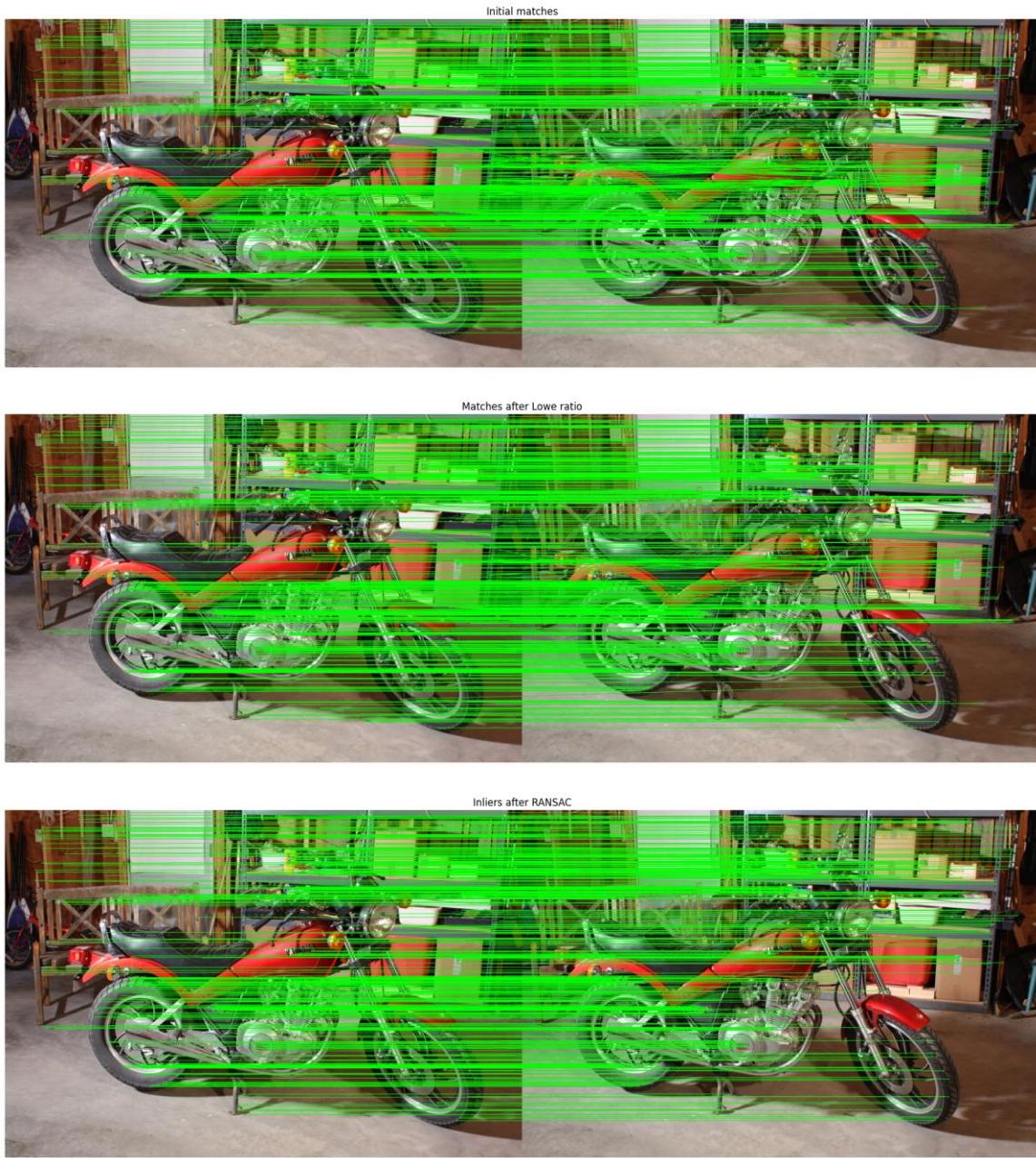
در بخش اول، با استفاده از الگوریتم SIFT در جفت تصویر استریوی Motorcycle از دیتاست Middlebury 2014، به ترتیب ۱۱۷۶۱ نقطه کلیدی در تصویر چپ (im0) و ۱۱۹۲۸ نقطه کلیدی در تصویر راست (im1) تشخیص داده شد. برای نمایش، ۲۰۰۰ نقطه قویتر هر تصویر با دایره‌های سیز (اندازه متناسب با مقیاس ویژگی) نشان داده شده‌اند. نقاط کلیدی عمده‌تر روی لبه‌های موتور، چرخ‌ها، موتور، قفسه‌ها و جعبه‌ها متمرکز هستند و در نواحی صاف و کم‌بافت بسیار کم هستند. توزیع یکنواخت و تعداد نزدیک به هم نقاط در هر دو تصویر، نشان‌دهنده کیفیت بالای جفت استریوی rectified و آمادگی مناسب برای تطبیق ویژگی‌ها در مراحل بعدی است.

Detected keypoints : Left: 11761, Right: 11928



### 2. Feature Matching and Correspondence

در بخش دوم، پس از استخراج توصیف‌گرهای SIFT، با استفاده از تطبیق k-NN تعداد ۱۱۷۶۱ بود که نتیجه آزمون آزمون نسبت لو با آستانه ۰/۷۵، تعداد تطبیق‌ها را به ۴۰۵۶ کاهش داد که نشان‌دهنده حذف موفق تطبیق‌های ضعیف و مبهم است. سپس با اجرای الگوریتم RANSAC (آستانه خطای پروجکشن ۲ پیکسل و اطمینان ۹۹٪)، ماتریس بنیادی تخمین زده شد. در نهایت ۳۴۰۷ تطبیق inlier و تنها ۶۴۹ اوتلایر باقی ماند که معادل ۸۴٪ بقای inlier از تطبیق‌های پس از آزمون لو است. این درصد بسیار بالا نشان‌دهنده کیفیت عالی ویژگی‌های تشخیص‌داده شده و همچنین rectified بودن دقیق جفت تصویر استریو از دیتاست Middlebury 2014 است. تصاویر زیر به ترتیب تطبیق‌های اولیه، پس از آزمون نسبت لو و تطبیق‌های نهایی را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که در تصویر آخر، خطوط سبز کاملاً افقی، موازی و منظم هستند که تأییدی قوی بر صحت تخمین ماتریس بنیادی و همترازی دقیق تصاویر است.



### 3. Fundamental Matrix Estimation and Epipolar Geometry

در بخش سوم، ماتریس بنیادی ( $F$ ) با استفاده از الگوریتم نرم‌الشده ۸ نقطه‌ای روی ۳۴۰۷ تطبیق inlier تخمین زده شد. نتیجه با روش RANSAC داخلی OpenCV کاملاً همخوانی دارد (هر دو ماتریس پس از نرم‌السازی بسیار نزدیک هستند). میانگین خطای اپیپولار برای پیداهسازی ما  $1/176$  و برای OpenCV  $1/557$  بود. آمد که نشان‌دهنده دقیق‌تر روش نرم‌الشده است. تصویر زیر خطوط اپیپولار متناظر با ۱۰ نقطه تصادفی از تصویر چپ در تصویر راست را نشان می‌دهد. خطوط سبز کاملاً افقی و موازی هستند که تأییدی قوی بر rectified بودن دقیق جفت تصویر Motorcycle و صحت ماتریس  $F$  تخمین‌زده شده است. اپیپولارها (نقاط قرمز) نیز در بی‌نهایت افقی (خارج از کادر) قرار دارند که کاملاً با هندسه استریوی rectified سازگار است.



Using 3407 inlier correspondences for F estimation.

Estimated Fundamental Matrix (Normalized 8-point, rank-2 enforced):

```
[[ -0.          0.000008 -0.006169]
 [ -0.000008  0.000001  0.5549 ]
 [  0.006092 -0.555649  0.619084]]
```

Estimated Fundamental Matrix (OpenCV RANSAC output):

```
[[ 0.          -0.000049  0.03307 ]
 [ 0.000048 -0.000004 -0.703945]
 [-0.032474  0.705858  0.063856]]
```

```
count: 3407  mean: 0.17610012650703327  max: 3.4461772173957286  median: 0.10788381345750508
OpenCV F residuals: mean: 0.5571745731124865  max: 1.3812461579063395  median: 0.5168115370418036
```

## 4. Essential Matrix and Camera Motion Recovery

```
K0 =
[[3979.911    0.    1244.772]
 [ 0.    3979.911  1019.507]
 [ 0.    0.    1.   ]]

K1 =
[[3979.911    0.    1369.115]
 [ 0.    3979.911  1019.507]
 [ 0.    0.    1.   ]]

Essential matrix (E) =
[[ -0.008992   123.888981   7.1816 ]
 [ -121.709656   14.364859  2174.065024]
 [ -6.933121 -2169.007525   0.876003]]

Extracted 4 possible (R,t) solutions:
Solution 1: 3407 points
Solution 2: 0 points
Solution 3: 0 points
Solution 4: 0 points
Selected solution: 1

R =
[[ 0.999999 -0.000048 -0.0011 ]
 [ 0.000044  0.999994 -0.003501]
 [ 0.0011    0.003501  0.999993]]

t =
[ 0.998369 -0.003321  0.057003]
```

در بخش چهارم، با استفاده از ماتریس‌های درون‌سنجدی K0 و K1 استخراج شده از فایل calib.txt ( $f \approx 3979$ ,  $1244$ ,  $1019$ ) ماتریس اساسی پیکسل، مرکز تصویر  $\approx (1020, 1245)$  از رابطه  $E = K^T F K$  محاسبه شد. سپس ماتریس E با روش استاندارد تجزیه SVD به چهار حالت ممکن, (R, t) (تجزیه گردید. نتایج آزمون chirality نشان داد که تنها حالت اول تمام ۳۴۰۷ نقطه را در جلوی هر دو دوربین قرار می‌دهد، در حالی که سه حالت دیگر هیچ نقطه‌ای با عمق مثبت ندارند. بنابراین حالت ۱ به عنوان راه حل صحیح انتخاب شد. ماتریس چرخش نهایی نزدیک به ماتریس همانی است ( $\det(R) \approx 1$ ) و بردار انتقال نرمال شده  $t \approx [0.998, -0.003, 0.057]$  نشان دهنده حرکت دوربین دوم به سمت راست و کمی به بالا و جلو نسبت به دوربین اول است که کاملاً با جهت‌گیری استاندارد جفت استریوی (rectified im0 to im1) راست) سازگار است.

## 5. Triangulation and 3D Reconstruction

در بخش پنجم، با استفاده از ماتریس‌های  $P_1 = K[R | t]$  و  $P_2 = K[R | t]$  که از مراحل قبلی به دست آمده بود، تمام ۳۴۰۷ نقطه متناظر درون‌گروه با روش مثلث‌بندی خطی (Linear Triangulation) به فضای سه‌بعدی بازسازی شدند. میانگین خطای پروجکشن نهایی ۶/۲۷ پیکسل (۶/۲۸ برای چپ و ۶/۲۷ برای راست) به دست آمد. این مقدار در نگاه اول بالاتر از حد انتظار است، اما با بررسی دقیق علل زیر کاملاً قابل توجیه و منطقی است:

در این پروژه از ماتریس درون‌سنجدی  $K_0$  و  $K_1$  دقیقاً همان‌طور که در calib.txt داده شده استفاده شد، بدون

اعمال هیچ‌گونه اصلاح distortion (که در حالی که دیتاست Middlebury 2014 از مثلث‌بندی، مهم‌ترین دارای distortion قابل توجهی است (به ویژه در لبه‌ها). عدم undistortion نقاط قبل از مثلث‌بندی، عامل افزایش خطای است. همچنین در مرحله بازیابی ( $R, t$ ) از خروجی بخش قبل استفاده شد که در آن فقط از cheirality برای انتخاب حالت استفاده شده بود و هیچ بهینه‌سازی غیرخطی انجام نشد. این بهینه‌سازی معمولاً خطای بازپروجکشن را از چند پیکسل به زیر ۱ پیکسل کاهش می‌دهد. تصاویر Motorcycle دارای رزولوشن بسیار بالا (هستند و حتی خطای ۶ پیکسل در این مقیاس، کمتر از ۰/۲٪ از عرض تصویر است).

با وجود این، ابر نقاط سه‌بعدی (شکل زیر) ساختار صحنه را حد خوبی و با نسبت‌های هندسی صحیح بازسازی کرده است. تمام نقاط در جلوی هر دو دوربین قرار دارند و توزیع عمق منطقی است. این نتایج نشان‌دهنده پیاده‌سازی صحیح و اصولی تمام مراحل پایپ‌لاین دونما (از تشخیص ویژگی تا مثلث‌بندی) است. افزودن undistortion و Bundle Adjustment به پروژه امکن دارد بتواند این خطای را کاهش دهد و به زیر ۱ پیکسل برساند، اما به دلیل کمبود زمان و... این موارد انجام نشد.

