

**اصول بینایی کامپیوتر (۱- ۲۲۹۲۶) زمستان ۱۳۹۹**  
**تمرینات سری دوم**  
**مهلت تحویل: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۰ (شنبه) ساعت ۱۲ شب**

---

**لطفاً به نکات زیر توجه بفرمایید.**

۱. نتایج و پاسخ های خود را در یک فایل zip (rar نباشد) در سایت cw قرار دهید (ایمیل نکنید). در صورت رعایت نکردن این موارد، ۱۰ نمره از شما کسر خواهد شد.

۲. اغلب تمرینات نیاز به برنامه نویسی خواهند داشت. در چنین تمرین هایی، کسب نمره کامل در هر سؤال مستلزم تحویل سه مورد نتایج، کدها، و توضیحات می باشد. نتایج مورد نیاز در هر تمرین توضیح داده شده است. نتایج ۳۰ درصد نمره شما را تشکیل می دهند. حتی با وجود توضیحات کامل و کدهای قابل اجرا، اگر نتایج در بین فایل های شما نباشند این ۳۰ درصد به شما تعلق نمی گیرد. در مورد کدها و توضیحات در زیر توضیح بیشتری داده میشود.

۳. برای سؤالاتی که نیاز به برنامه نویسی دارند، باید حتماً کدهای استفاده شده که منجر به نتایج فرستاده شده است همراه فایل های شما باشند. با اجرای این کدها باید همان نتایجی که فرستاده اید قابل بازیابی باشند. برنامه اصلی شما باید با نام مرتبط با شماره سؤال ذخیره شده باشد که در هر سؤال به آن اشاره خواهد شد. برنامه شما باید به گونه ای باشد که بدون نیاز به هیچ تغییری قابل اجرا باشد، در غیر اینصورت هیچ نمره ای تعلق نخواهد گرفت. کدهای شما ۴۰ درصد نمره هر سؤال را تشکیل می دهند و در صورت عدم وجود و یا کار نکردن کد این نمره به شما تعلق نخواهد گرفت. در صورت استفاده از فایل های متعدد لطفاً تمام آن ها را به همراه پاسخ های خود بفرستید تا برنامه شما قابل اجرا باشد. در چنین مواردی، می توانید فایل ها را با نام های دلخواه خود ذخیره نمایید ولی فایل اصلی باید با نام اشاره شده در هر سؤال ذخیره شود و طوری باشد که با اجرای آن برنامه تمام قسمت های برنامه مورد نظر اجرا شود. در صورتی که چند کد در یک سؤال از شما خواسته شده باشد، باید تمام آن ها را با توضیحات خواسته شده در سؤال ذخیره نموده و بفرستید. کدهای شما تماماً باید توسط خودتان نوشته شده باشند. هرگونه استفاده از کد دیگران، اعم از دوستان و اینترنت، به هر شکل ممکن، اعم از کپی کردن یا همکاری کردن، تقلب محسوب می شود و نمره تمام تمرینات جاری و تمام تمرینات قبلی صفر خواهد شد.

۴. برای تمام سؤالات، باید جزئیات روشی که استفاده کرده اید را توضیح دهید. این توضیحات برای تمام سؤالات می توانند در یک فایل pdf باشند. این قسمت ۳۰ درصد نمره هر سؤال شما را تشکیل می دهد. در توضیحات، باید اشاره کامل به کارهایی که انجام داده اید بنمایید به طوری که یک شخص آگاه از موارد درس بتواند به آسانی متوجه کاری که شما انجام داده اید بشود.

۵. تمام فایل های مربوط به یک سری تمرین را باید با هم تحویل دهید. در صورتیکه قسمت های مختلف یک سری تمرینات را در زمان های مختلف در سایت cw قرار داده باشید، آخرین زمان بارگزاری به عنوان تاریخ تحویل شما در نظر گرفته خواهد شد.

## سؤالات:

### ۱. پانورامای ویدئو و پردازش ویدئو (۱۰۵ نمره)

در این تمرین به شما ویدیویی (video.mp4) از یکی از خیابان های شلوغ تهران داده شده است که در ادامه آن را ویدیوی خام می نامیم. هدف این است که ویدیویی به دست آوریم که پیش زمینه (foreground) ویدیوی خام، یعنی اجسامی که در این ویدیو حرکت می کنند (مثل ماشین ها، موتور ها و انسان ها)، در آن مشخص شده باشد. در مسیر ساخت این ویدیو، یک تصویر پانوراما از کل محیطی که فیلم گرفته شده، تصویر پانوراما از پس زمینه (background)، و ویدیوی پس زمینه ی این ویدیوی خام نیز ساخته خواهد شد.

در این تمرین از ۹۰۰ فریم اول این ویدیو استفاده خواهیم کرد که متناظر با ۳۰ ثانیه اول آن می باشد. می توانید فریم های این ویدیو را با استفاده از ffmpeg یا هر ابزار دیگری استخراج کنید. ما از فریم شماره ۴۵۰ به عنوان فریم مرجع استفاده می کنیم. یعنی تمامی فریم های دیگر را به صفحه ی این فریم، با استفاده از یک نگاشت هموگرافی، تصویر می کنیم. سعی شده در گرفتن ویدیو دوربین تنها چرخش داشته باشد و به همین دلیل فریم ها با نگاشت هموگرافی به هم مربوط می شوند. عکس ها و ویدیوهایی که در این تمرین به شما برای نمونه و توضیحات بیشتر داده شده با رزولوشن کمتری از این ویدیو ایجاد شده اند. شما باید مراحل خواسته شده را روی ویدیوی با رزولوشن کامل انجام دهید.

ویدیویی که در اختیار شما قرار داده شده است رزولوشن بالا دارد. چنانچه در پردازش آن از نظر زمان محاسبه و حافظه به مشکل برخورد کردید می توانید با رزولوشن پایین تر این ویدیو کار کنید، ولی دقت نمایید که بهترین نتایج را به دست آورید.

### بخش ۱ – ادغام (stitch) دو فریم اصلی (۵ نمره)

در این قسمت می خواهیم فریم ۲۷۰ را به صفحه ی فریم ۴۵۰ برده و آن ها را با هم ادغام کنیم. اگر این دو فریم را مشاهده کنید، می بینید که اشتراک زیادی با هم دارند. ابتدا با استفاده از SIFT یا هر روش دیگری، در این دو تصویر تعدادی نقطه ی مطلوب (interest point) استخراج کنید. سپس نقاط مطلوب متناظر با هم را در این دو عکس با استفاده از SIFT یا هر روش دیگری به دست آورید. در نهایت با استفاده از RANSAC یک نگاشت هموگرافی H به دست آورید که با اعمال آن روی فریم ۲۷۰، به صفحه ی فریم ۴۵۰ برویم. برای محاسبه هموگرافی با استفاده از RANSAC می توانید از کتابخانه های آماده استفاده کنید. درستی هموگرافی به دست آمده را با کشیدن یک مربع در فریم ۴۵۰ و تصویر آن مربع تحت نگاشت  $H^{-1}$  در فریم ۲۷۰ آزمایش کنید. مثالی از این کار را در شکل زیر می توانید مشاهده کنید:



(ب) مربع در فریم ۲۷۰



(آ) مربع در فریم ۴۵۰

این تصاویر را با نام های res01-450-rect.jpg و res02-270-rect.jpg ذخیره کنید. برای ادغام این دو تصویر، فریم ۴۵۰ را روی وارپ (warp) شده فریم ۲۷۰ قرار دهید. برای این کار، فریم ۴۵۰ را در یک تصویر خالی به اندازه مناسب بزرگ که وارپ شده فریم ۲۷۰ هم در آن جای شود در جای مناسب قرار دهید. فریم ۲۷۰ را وارپ کنید و در جای مناسب خود در تصویر جدید زیر فریم ۴۵۰ قرار دهید، یعنی در قسمت های مشترک بین دو فریم مقدار پیکسل ها از فریم ۴۵۰ باشند. تصویر به دست آمده یک پانوراما می باشد که از دو عکس تشکیل شده و فضای بزرگ تری نسبت به یک فریم از ویدیو را به نمایش می گذارد. این تصویر بزرگ تر را با نام res03-270-450-panorama.jpg ذخیره کنید.

## بخش ۲ – پانوراما با استفاده از ۵ فریم کلیدی (۱۵ نمره)

در این قسمت، با استفاده از فریم های ۹۰، ۲۷۰، ۴۵۰، ۶۳۰ و ۸۱۰ که آن ها را فریم های کلیدی می نامیم یک تصویر پانوراما درست کنید. هدف این است که هر فریم را به صفحه ی فریم ۴۵۰ تصویر کرده و آن ها را با هم ادغام کنیم. برای فریم های ۲۷۰ و ۶۳۰ می توانید از توضیحات بخش قبل استفاده کنید اما تصویر کردن فریم های ۹۰ و ۸۱۰ به طور مستقیم به فریم ۴۵۰ دشوار است چرا که این فریم ها با فریم ۴۵۰ اشتراک کمی دارند. به همین دلیل، شما باید نگاشت هموگرافی مربوط به این فریم ها را در دو مرحله محاسبه کنید. یک هموگرافی از فریم ۹۰ به فریم ۲۷۰ و یکی از ۲۷۰ به ۴۵۰ (طبق توضیحات قسمت قبل) پیدا کنید و آن ها را در هم ضرب کنید. با این کار، یک نگاشت هموگرافی از فریم ۹۰ به فریم ۴۵۰ خواهید داشت با این که این دو فریم اشتراک کمی نسبت به هم دارند. این کار را برای فریم ۸۱۰ نیز انجام دهید. در نهایت به این شکل برای هر یک از فریم های اصلی یک نگاشت هموگرافی دارید که با اعمالش روی فریم مورد نظر، آن فریم به صفحه ی فریم ۴۵۰ خواهد رفت. این نگاشت ها را روی فریم های مربوطه اعمال کرده و تصاویر حاصل را با هم ادغام کنید. فریم ها طوری ادغام کنید که رنگ پانورامای حاصل یک دست باشد. میزان زیادی از نمره این بخش به ادغام کردن خوب این فریم ها بستگی دارد. نتیجه این بخش را با نام res04-key-frames-panorama.jpg ذخیره کنید.

## بخش ۳ – تصویر ویدیوی خام به صفحه ی فریم مرجع (۱۰ نمره)

در این بخش، یک ویدیو می سازید که در آن برای هر فریم از ویدیوی خام یک نگاشت هموگرافی به دست می آورید که آن فریم را به صفحه ی فریم مرجع (فریم ۴۵۰) می برد و آن را روی فریم مربوطه اعمال می کنید. کوچک ترین اندازه تصویری را به دست بیاورید که اگر با استفاده از همه ۹۰۰ فریم یک تصویر پانوراما بسازید که در آن همه فریم ها به صفحه فریم مرجع وارپ شده اند همه آنها در تصویر مورد نظر جای شوند. این تصویر را تصویر پانوراما می نامیم. برای هر فریم، یک تصویر خالی به اندازه تصویر پانوراما در نظر گرفته و وارپ شده فریم را در جای مناسب آن در تصویر خالی قرار دهید. برای این کار، نگاشت هموگرافی بین آن و فریم مرجع را به دست بیاورید. برای فریم هایی که اشتراک کمی با فریم مرجع دارند باید از فریم های کلیدی کمک بگیرید. هموگرافی به دست آمده را روی آن فریم اعمال کنید و تصویر وارپ شده را در جای مناسب در تصویر پانورامای خالی قرار دهید. ویدیوی حاصل را با نام res05-reference-plane.mp4 ذخیره کنید.

## بخش ۴ – ساختن پانورامای پس زمینه (۱۵ نمره)

در این قسمت، هدف این است که اشیای متحرک را از ویدیو حذف کرده و یک پانوراما از پس زمینه ایجاد کنید. برای این کار، باید از پیکسل های تمام فریم های ویدیو استفاده کنید. در ویدیویی که در قسمت قبل تولید کردید، هر پیکسل در چندین

فریم ظاهر می شود. شما باید با استفاده از رنگ هایی که این پیکسل در این فریم ها دارد، تخمین بزنید که رنگ پس زمینه ی این پیکسل چیست. ما از این مشاهده استفاده می کنیم که رنگ پس زمینه تقریباً مقداری ثابت است در حالی که رنگ پیش زمینه مقادیر متفاوتی دارد (چرا که پیش زمینه در حال حرکت و تغییر است و چیزهای مختلف رنگ یکسان ندارند). برای مثال، یک نقطه از خیابان که رنگ خاکستری دارد ممکن است در زمان های کوتاهی سفید، آبی، قرمز و یا هر رنگ دیگری بشود، ولی بیش از بقیه رنگ ها به رنگ خاکستری ظاهر می شود. برای هر پیکسل در ویدیوی بخش قبل، تمام رنگ هایی که این پیکسل در این ویدیو گرفته است را در نظر بگیرید و از بین آنها رنگ پس زمینه آن پیکسل را تخمین بزنید (طبیعتاً در زمان هایی که این پیکسل در ناحیه دید دوربین نبوده است نباید رنگ سیاه را برای این پیکسل به حساب بیاورید). روش خود را برای حدس زدن این رنگ توضیح دهید. این عملیات را برای تمام پیکسل ها انجام دهید. خروجی شما باید یک تصویر پانوراما باشد که تنها پیکسل های پس زمینه یا اشیاء که حرکت نمی کنند در آن نمایش داده شده باشد. برای مثال، تصویر زیر بخشی از این تصویر پانورامای پس زمینه است:



دقت کنید هرچه نتیجه شما در این قسمت بهتر باشد، باعث بهتر شدن نتیجه قسمت بعد شما خواهد شد. بنابراین خوب شدن نتیجه این بخش اهمیت بالایی دارد. تصویر پانورامای حاصل را با نام `res06-background-panorama.jpg` ذخیره کنید.

## بخش ۵ – ساختن ویدیوی پس زمینه (۱۰ نمره)

در این قسمت، هدف حذف کردن پیش زمینه از ویدیو اصلی است، یعنی در ویدیو اصلی فقط پس زمینه دیده شود. برای این کار، پانورامای پس زمینه را که در بخش قبل تولید کردید، به مختصات فریم های دوربین تصویر کنید. در بخش قبل، برای هر فریم از ویدیو اصلی یک نگاشت هموگرافی از آن فریم به فریم مرجع به دست آورده بودید. اگر معکوس این هموگرافی را روی تصویر پانورامایی که در بخش قبل به دست آوردید اعمال کنید فریم بدون پیش زمینه به دست می آید. این کار را برای همه فریم ها انجام دهید. از فریم های حاصل یک ویدیو بسازید و با نام `res07-background-video.mp4` ذخیره کنید. ویدیوی حاصل مشابه ویدیوی خام (ویدیوی اولیه) می باشد با این تفاوت که تنها نقاط پس زمینه در آن هستند و شی متحرکی در آن وجود ندارد.

## بخش ۶ – ساختن ویدیوی پیش زمینه (۱۵ نمره)

در این بخش، قسمت های پیش زمینه را مشخص می کنید. در ویدیوی پس زمینه، اشیاء متحرک حذف شده اند. در هر فریم اصلی، پیکسلی که رنگش به اندازه کافی با رنگ آن پیکسل در تصویر پس زمینه متفاوت است پیش زمینه حساب می شود.

البته با این کار احتمالا نویز هم خواهید داشت (تعدادی از پیکسل های پس زمینه به عنوان پیش زمینه تشخیص داده می شوند و برعکس). تلاش کنید با حذف این نویزها کیفیت تشخیص پیش زمینه را بهتر کنید. روش خود را برای این بخش به طور کامل توضیح دهید. پیکسل های پیش زمینه را محاسبه کنید و یک ویدیو همانند ویدیو اصلی تولید کنید که در آن پیکسل های پیش زمینه با رنگ قرمز قابل تشخیص باشند. می توانید مقدار کانال قرمز این پیکسل ها را ۱۰۰ واحد زیاد کنید. ویدیوی حاصل را با نام res08-foreground-video.mp4 ذخیره کنید.

## بخش ۷ – ساختن ویدیوی پهن تر (۱۰ نمره)

در بخش ۵ با استفاده از تصویر پانورامای پس زمینه و هموگرافی هایی که برای هر فریم به دست آورده بودید یک ویدیوی پس زمینه تولید کردید. در این بخش هدف این است که یک ویدیوی پس زمینه پهن تر، مانند ویدیوی خروجی بخش ۵ ولی با زاویه دید افقی بیشتر، بسازید. ویدیوی خروجی شما باید حداقل ۵۰٪ پهن تر باشد (اندازه افقی آن بیشتر باشد). می توانید از همان ارتفاع ویدیوی اصلی استفاده کنید (ارتفاع را زیاد نکنید). روش خود را برای پهن تر کردن ویدیو به طور کامل توضیح دهید. ویدیوی خروجی این قسمت را با نام res09-background-video-wider.mp4 ذخیره کنید.

## بخش ۸ – حذف لرزش دوربین (۲۵ نمره) (نمره اضافی)

همانطور که با مشاهده ویدیو می توانید متوجه شوید، در هنگام ضبط ویدیو، مقداری لرزش در دوربین و در نتیجه در ویدیو وجود داشته است. در این قسمت هدف این است که ویدیویی به دست آوریم که در آن این لرزش حذف شده باشد. دقت کنید که در این مساله می توانید فرض کنید جابجایی نداریم و مرکز دوربین ثابت است و بین فریم های مختلف صرفا دوران وجود دارد. مساله برای حالتی که هم دوران و هم جابجایی داشته باشیم بسیار دشوارتر خواهد شد و همچنان یکی از موضوع های فعال برای تحقیقات می باشد. یکی از روش های حذف لرزش دوربین در حالتی که جابجایی نداریم این است که با استفاده از ماتریس های هموگرافی ای که برای هر فریم داریم جهت دوربین در هر فریم را به دست آورید. در حالتی که ویدیو هموار است تغییرات جهت دید دوربین در طول ویدیو هموار است، ولی در صورت وجود لرزش، جهت دید دوربین در بعضی مواقع تغییرات زیاد و ناگهانی دارد. این جهت ها را می توانید برای فریم های مختلف هموار کنید. سپس یک هموگرافی از تصویر اصلی به تصویری که در جهت جدید می توانست گرفته شده باشد به دست بیاورید. این هموگرافی را روی فریم اصلی اعمال کنید. اگر این کار به درستی انجام شده باشد، ویدیو حاصل از تصاویر جدید باید بدون لرزش باشد. علاوه بر روش توضیح داده شده در بالا، مجازید از هر روشی که به ذهنتان می رسد برای حل این سوال استفاده کنید ولی روش خود را باید کامل خودتان پیاده سازی کنید و استفاده از توابع آماده مخصوص این کار در این قسمت ممنوع می باشد. روش خود را کامل توضیح دهید. ویدیوی حاصل از حذف لرزش را با نام res10-video-shakeless.mp4 ذخیره کنید.

## ۲. کالیبراسیون دوربین (۱۵ نمره)

در این تمرین، دوربینی که تصاویر im01.jpg تا im20.jpg با آن گرفته شده اند را کالیبره خواهید کرد. اندازه هر مربع صفحه شطرنجی در تصاویر ۲۲ در ۲۲ میلی متر است. هدف پیدا کردن ۵ پارامتر ماتریس کالیبراسیون می باشد. برای این کار می توانید از کتابخانه های موجود به ویژه از opencv استفاده نمایید. ماتریس کالیبراسیون را برای حالت های زیر به دست آورده و در گزارش خود ذکر نمایید:

۱. با استفاده از تصاویر im01 تا im10

۲. با استفاده از تصاویر im06 تا im15

۳. با استفاده از تصاویر im11 تا im20

۴. با استفاده از تصاویر im01 تا im20

پارامترهای به دست آمده با استفاده از چهار دسته داده بالا را با هم مقایسه کرده و بررسی نمایید که آیا پارامترهای به دست آمده با دسته داده های مختلف به اندازه کافی بهم نزدیک هستند یا خیر و در گزارش خود تحلیل خود را ذکر نمایید.

با فرض اینکه نقطه principal point در وسط تصاویر قرار دارد، و ضریب اریب  $s$  صفر است، و پیکسل ها مربعی هستند، مقدار فاصله کانونی دوربین را به دست آورده، در گزارش خود ذکر نمایید.