



بسمه تعالی  
دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی برق

پردازش و تحلیل تصاویر پزشکی - بهار ۱۴۰۲-۱۴۰۳

تمرین سری پنج  
موحد تحویل:

### نحوه تحویل:

۱. گزارش پروژه خود را در قالب یک فایل pdf. تحویل دهید، گزارش باید شامل تمامی خروجی‌ها و نتایج نهایی، پاسخ سوالات، و توضیح مختصری از فرآیند حل مسئله هر قسمت باشد.
۲. کد کامل تمرین آپلود شود، لازم است بخش‌های مختلف در section های جدا نوشته شده باشد و کد منظم و دارای کامنت گذاری باشد. کد باید به صورت کامل اجرا شود و در صورت وجود خطا، ممکن است کل امتیاز بخش را از دست بدهید.
۳. مجموعه تمامی فایل‌ها (گزارش، کد به همراه توابع) را در قالب یک فایل فشرده (rar/zip) به فرمت: HW#\_std number\_full name در سامانه CW آپلود شود.
۴. در انجام تمرین استفاده از اینترنت و مشورت مجاز می‌باشد اما کپی کردن تمرین حتی یک قسمت مجاز نمی‌باشد و در صورت مشاهده نمره کل تمرین صفر در نظر گرفته خواهد شد. لازم است اسم افرادی که با آن‌ها مشورت صورت گرفته و مراجع اینترنتی استفاده شده در گزارش ذکر شوند.

### سیاست تاخیر:

۵. در هر تمرین تا سقف ۷ روز و در مجموع می‌توانید تا ۲۱ روز تاخیر در کل داشته باشید.
۶. به ازای هر روز تاخیر اضافه، ۱۰٪ از نمره تمرین کم خواهد شد.

## بخش تئوری

در مسئله انطباق تصاویر به صورت non-rigid می توان مسئله را به صورت بهینه سازی تابع هزینه زیر تعریف کرد:

$$E(u) = S(I_t, I_m, u) + \alpha |\nabla u|^2$$

که در این رابطه منظور از  $u$  deformation field است و  $I_m$  تصویری که می خواهیم  $u$  را بر آن اعمال کنیم تا بیشترین شباهت را به تصویر ثابت یعنی  $I_t$  داشته باشد. تابع  $S$  مقدار شباهت تصویر  $I_m$  بعد از اعمال  $u$  با تصویر  $I_t$  را می سنجد.

الف) در رابطه با ترم دوم موجود در تابع هزینه توضیح دهید

یک روش برای حل مسئله بالا، تبدیل آن به مسئله زیر است:

$$\hat{u}, \hat{v} = \operatorname{argmin}_{u,v} DSV(v) + \left(\frac{1}{2\theta}\right)(v - u)^2 + \alpha |\nabla u|^2$$

$$DSV(v) = S(I_t, I_m \circ v)$$

و این مسئله را به صورت انجام متداوم این دوگام انجام می دهند:

$$\hat{v} = \operatorname{argmin}_v DSV(v) + \left(\frac{1}{2\theta}\right)(v - u)^2$$

$$\hat{u} = \operatorname{argmin}_u \left(\frac{1}{2\theta}\right)(v - u)^2 + \alpha |\nabla u|^2$$

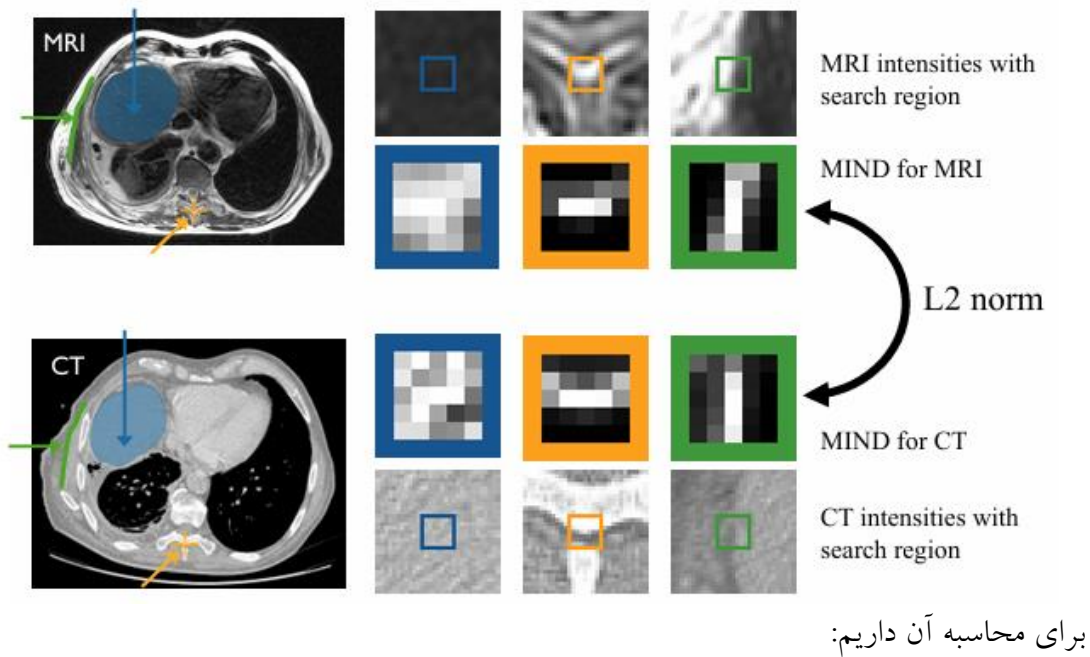
ب) توضیح دهید برتری حل مسئله به این صورت چیست.

## بخش عملی

### طراح: محمد کلباسی

#### Modality Independent Neighbourhood Descriptor-۱

یکی از چالش‌های تطبیق تصاویر پزشکی با مدالیت‌های مختلف، ارائه معیاری برای بررسی شباهت است. یکی از توصیف‌گرهای<sup>1</sup> پرکاربرد برای این زمینه توصیف‌گر MIND (Modality Independent Neighbourhood Descriptor) است که در آن با استخراج بردار ویژگی برای هر پیکسل و مقایسه آن بین دو تصویر، میتوان شباهت بین دو تصویر را بررسی کرد:



$$\text{MIND}(I, \mathbf{x}, \mathbf{r}) = \frac{1}{n} \exp \left( -\frac{D_p(I, \mathbf{x}, \mathbf{x} + \mathbf{r})}{V(I, \mathbf{x})} \right) \quad \mathbf{r} \in R$$

در این رابطه  $R$  بازه جستجو است، بنابراین برای هر پیکسل  $x$  در تصویر  $I$  ما به تعداد  $|R|$  ویژگی داریم، مقدار  $n$  به این صورت تنظیم میشود که ماکسیمم مقادیر برابر یک شود. برای محاسبه  $D$  و  $V$  در حالت تصویر سه بعدی نیز از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$D_p(I, \mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \sum_{\mathbf{p} \in P} (I(\mathbf{x}_1 + \mathbf{p}) - I(\mathbf{x}_2 + \mathbf{p}))^2$$

<sup>1</sup> descriptor

$$V(I, \mathbf{x}) = \frac{1}{6} \sum_{\mathbf{n} \in N} D_p(I, \mathbf{x}, \mathbf{x} + \mathbf{n})$$

که برای محاسبه  $V$  از ۶ همسایگی پیکسل محاسبه می‌شود، به طور معادل برای حالت دوبعدی نیز میتوان تنها از ۴ همسایگی استفاده کرد.

الف) دو تصویر PET و MRI داده شده را بخوانید، این دو تصویر از پیش بر هم منطبق شده‌اند. یک نقطه دلخواه در تصویر MRI انتخاب کنید و فاصله MIND این پیکسل را با پیکسل تصویر PET محاسبه کنید و به صورت یک Heatmap مقادیر را نشان دهید، مشاهدات خود را از نتیجه تفسیر کنید. (پارامترها را خودتان تنظیم کنید به صورتی که هم پردازش با سرعت مناسبی انجام شود و هم دقت مناسب باشد)

ب) بر روی تصویر PET دورانی ۳۰ درجه اعمال کنید. حال در تصویر MRI ۲۰ نقطه انتخاب کنید (این نقاط می‌توانند به صورت رندوم باشند)، برای ۲۰ نقطه بدست آمده با استفاده از MIND، ۲۰ نقطه متناظر در تصویر دوران یافته را محاسبه کنید، حال براساس آن ماتریس دوران را بیابید و مقدار خطا را گزارش کنید. این کار را برای تعدادی مختلف زاویه دوران انجام دهید و نتیجه را بررسی کنید. ج) به هر دو تصویر نویز گاوسی و فلفل نمکی استفاده کنید و بخش ب را دوباره انجام دهید، براساس آن بررسی کنید آیا این توصیف‌گر نسبت به نویز مقاوم است و یا خیر، نتایج خود را تحلیل کنید.

## طراح: محمد کلباسی

### VoxelMorph-۲

یکی از روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق برای انجام رجیستریشن تصاویر پزشکی Voxelmorph است، در این سوال می‌خواهیم بررسی کلی از این روش داشته باشیم.

الف) مقاله Voxelmorph را بخوانید و به صورت مختصر در رابطه با روش استفاده شده و تابع هزینه توضیح دهید.

ب) نوت بوک VoxelMorph.ipynb را در Google colab باز کرده و قسمت‌های مشخص شده را کامل کنید و نتایج خواسته شده را تحلیل کنید.

## طراح: علیرضا فیاضی

۳- در این سوال قصد داریم به پیاده‌سازی image registration با انتخاب نقاط کلیدی و انطباق ویژگی‌های تصویر بپردازیم.

دو تصویر با نام‌های book1 و book2 را لود کنید و به grayscale تبدیل کنید.

در اینجا تصویر book1 را به عنوان مرجع در نظر می‌گیریم و سعی می‌کنیم تا تصویر دیگر را به این تصویر منطبق کنیم. در این مرحله سعی می‌کنیم ویژگی‌های دو تصویر و نقاط کلیدی (key points) آنها را مشخص کنیم تا ویژگی‌های دو تصویر را با یکدیگر هماهنگ کنیم. در مقابل نقاط کلیدی، توصیف‌گرها (descriptors) قرار دارند، که هیستوگرام گرادیان‌های تصویر هستند که ظاهر یک نقطه‌ی کلیدی را مشخص می‌کنند. برای به‌دست آوردن نقاط کلیدی و توصیف‌گرها می‌توانیم از پیاده‌سازی الگوریتم ORB (Oriented Fast and Rotated Brief) استفاده می‌کنیم که تابع آماده‌ی آن در کتابخانه‌ی OpenCV وجود دارد (استفاده از سایر کتابخانه‌ها نیز بلا مانع است).

بعد از به دست آوردن نقاط کلیدی، باید این نقاط را بین دو تصویر با همدیگر مطابقت دهیم (key points matching).

پس از انتخاب بهترین match، تبدیل homography مورد نظر را پیدا کنید و با اعمال این تبدیل به تصویر اولیه، تصویر نهایی منطبق‌شده‌ی اصلی را به دست آورید.

## طراح: علیرضا فیاضی

در این سوال به medical image fusion می‌پردازیم. مقاله‌ی Medical Image fusion with

Laplacian pyramids در اختیار شما قرار داده شده است. با مطالعه‌ی این مقاله به سوالات زیر پاسخ

دهید.

الف) شرح مختصری از فرآیند image fusion بدهید و هدف اصلی آن و دلیل استفاده از این روش

را بیان کنید.

ب) Laplacian pyramid چیست و مراحل اعمال آن به یک تصویر را شرح دهید، و مزیتی که

این روش نسبت به تبدیل wavelet دارد را بیان کنید.

ج) چگونگی استفاده از DCT(Discrete Cosine Transform) در اعمال Laplacian

pyramid را شرح دهید.

د) در این بخش به اعمال روش image fusion برای تصاویر PET, MRI می‌پردازیم. (در این

مقاله ادغام تصاویر CT و MRI آمده است). تصاویر MRI, PET مربوط به این سوال در اختیار شما

قرار داده شده است. تصاویر MRI، ویژگی‌های ساختاری (structural) تصاویر را به خوبی نشان می‌دهند،

در صورتی که تصاویر PET، ویژگی‌های کارکردی (functional) تصاویر را به خوبی نشان می‌دهند.

هدف از ادغام این دو مدالیت، به دست آوردن تصاویر خروجی است که هم از نظر کیفی، ساختار تصاویر

MRI را حفظ کنند و اطلاعات کارکردی تصاویر PET را نیز به خوبی در یک تصویر با کیفیت مناسب

نشان دهند. یک پیش‌پردازش برای اعمال روش image fusion، بحث image registration است

که این تصاویر داده شده، register شده هستند و نیازی به اعمال این پیش‌پردازش نیست.

با توجه به مراحل گفته شده در مقاله به این شکل عمل میکنیم:

ابتدا تجزیه ی هرم لاپلاس تصاویر را انجام میدهیم. در مرحله ی بعدی به جای کاهش رزولوشن تصاویر با استفاده از روش های مرسوم، از تبدیل گسسته کسینوسی استفاده میکنیم، برای ایجاد امکان تفریق تصویر تولید شده توسط DCT از تصویر اولیه، zero padding انجام میدهیم. در این مرحله هم مقدار برای هر سطح هرم پیسکل با بیشترین مقدار انتخاب میشود و به تعداد سطوحی که به صورت دلخواه انتخاب میشود این عملیات را انجام میدهیم. در نهایت هم با یک عملیات میانگین گیری بین شدت پیکسل تصاویر، میانگین گیری را محاسبه میکنیم و با عملیات معکوس هرم لاپلاس، این تصویر را از حوزه ی هرم لاپلاس به حوزه ی اصلی تصویر برمیگردانیم.

با توجه به مراحل گفته شده و در نظر نگرفتن پیش پردازش گفته شده، الگوریتم را بر روی تصاویر موجود اعمال کنید. (برای سادگی کار می توانید از یک تعداد Level مشخصی برای اعمال سطوح هرم لاپلاس استفاده کنید. هم چنین استفاده از هرگونه کتابخانه ای در این سوال مجاز است).

ه) شاخص آنتروپی در تصاویر را شرح دهید، و این مشخصه را برای تصاویر ورودی و خروجی محاسبه کنید و نتیجه ی به دست آمده را توضیح دهید.