



باسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

سیگنال‌ها و سیستم‌ها - گروه دکتر بهروزی - بهار ۱۴۰۱-۰۲

تمرین متلب سری سوم

موعد تحویل: ۲۰ اردیبهشت - ساعت ۲۳:۵۵

نحوه تحویل:

- گزارش تمرین خود را در قالب یک فایل pdf. تحویل دهید. در گزارش لازم است تمامی خروجی‌ها و نتایج نهایی، پرسش‌های متن تمرین و توضیح مختصری از فرآیند حل مسأله خود در هر قسمت ذکر کنید.
- کد کامل تمرین را در قالب یک فایل m. تحویل دهید. لازم است بخشهای مختلف تمرین در section های مختلف تفکیک شوند و کد تحویلی منظم و دارای کامنت گذاری مناسب باشد. بدیهی است آپلود کردن کدی که به درستی اجرا نشود، به منزله ی فاقد اعتبار بودن نتایج گزارش شده نیز می باشد.
- توابعی را که (در صورت لزوم) نوشته اید، حتما در انتهای کد در یک section جدا تحت عنوان functions ضمیمه کنید و از ایجاد فایل جدای m. برای آن‌ها خودداری کنید.
- مجموعه ی تمامی فایل‌ها (گزارش، کد اصلی و خروجی‌های دیگر در صورت لزوم) را در قالب یک فایل zip/.rar. ذخیره کرده و از طریق سامانه CW تحویل دهید.
- نام گذاری فایل‌های تحویلی را به صورت zip.rar.m. CHW03_StudentNumber.pdf انجام دهید.
- ابهام یا اشکالات خود را می‌توانید با طراحان تمارین از طریق آی‌دی‌های @MMohseniZ و @ilia_ad7 مطرح نمایید.

معیار نمره‌دهی:

- ساختار مرتب و حرفه ای گزارش
- استفاده از توابع و الگوریتم‌های مناسب
- پاسخ به سؤالات تئوری و توضیح روش‌های مطلوب سوال
- کد و گزارش خروجی کد برای خواسته‌های مسأله

نکته مهم:

- شرافت انسانی ارزشی به مراتب والاتر از تعلقات دنیوی دارد. در صورت کشف شباهت غیر قابل توجیه بین کدها و گزارش‌های آپلود شده، نمره نهایی تمرین مذکور برای همه افرادی که مشارکت داشته‌اند قرینه نمره‌ای که کسب کرده‌اند ثبت خواهد شد.

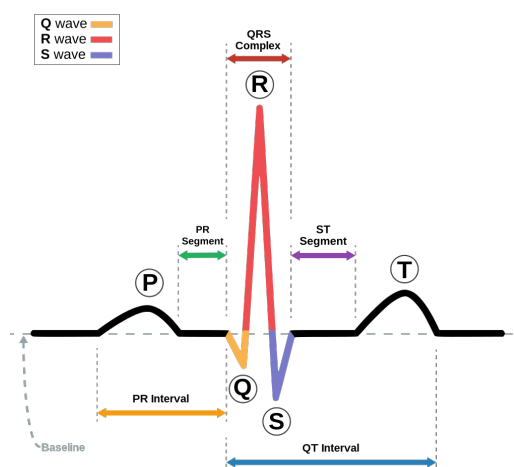
۱ سیگنال نوار قلب

یک مورد از کاربردهای گسترده پردازش سیگنال در تحلیل سیگنال‌های حیاتی پردازش سیگنال قلب می‌باشد. یکی از روش‌های بدست آوردن سیگنال قلب استفاده از دستگاه‌های الکتروکاردیوگرافی (Electrocardiography) است که نوار قلب را با استفاده از ولتاژ القا شده در پوست ناحیه قفسه سینه و جاهایی که نبض وجود دارد ضبط می‌کند. در فرآیند ضبط نوار قلب با استفاده از این دستگاه‌ها دو نوع نویز وجود دارند که به همراه سیگنال قلب ضبط می‌شوند:

- نویز 50Hz برق شهر
- نویز حاصل از انقباض و انبساط دیگر عضلات فرد (Baseline Wandering Noise) که موجب می‌شود سیگنال نوار قلب حول آفست آن بالا و پایین شود

در ادامه قصد داریم که دو نمونه پردازش نشده (Raw) از این سیگنال‌ها را لود کرده و نویزهای آن را حذف کنیم.

۱. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید هر تناوب (نه به معنای تناوب ریاضی) از سیگنال قلب از دره و قله‌هایی تشکیل شده است. بررسی ویژگی‌های گوناگون این قله و دره‌ها اطلاعات خوبی را در اختیار ما قرار می‌دهد، برای مثال برای اندازه‌گیری فشار سیستولیک می‌توانیم از اندازه قله R استفاده کنیم یا برای بدست آوردن ضربان قلب می‌توانیم از فاصله زمانی بین دو R بهره ببریم. برای فیلتر کردن این سیگنال‌ها می‌توانیم از فیلترهای FIR یا IIR استفاده کنیم (دو دسته کلی از فیلترهای دیجیتال). در مورد فیلترهای FIR و IIR تحقیق کنید و خلاصه‌ای از آن‌ها شرح دهید. کدام یک از آن‌ها برای کاری که ما می‌خواهیم انجام بدهیم مناسب‌تر هستند؟ دلیل این موضوع را بیان کنید.



شکل ۱: یک تناوب از سیگنال قلب

۲. دو سیگنال ECG موجود در فایل `ecg.mat` را لود کرده و در حوزه‌های زمان و فرکانس پلات کنید.
۳. فیلتری طراحی کنید که نویز برق شهر را حذف کند و اندازه و فاز آن را رسم کنید. خروجی حاصل از فیلتر کردن دو سیگنال با استفاده از این فیلتر را بدست آورده و رسم کنید. (می‌توانید از توابع DSP Toolbox متلب استفاده کنید)
۴. فیلتری را طراحی کنید که Baseline Wandering را حذف کند و اندازه و فاز آن را رسم کنید. خروجی حاصل از فیلتر کردن دو سیگنال با استفاده از این فیلتر را بدست آورده و رسم کنید.
۵. با استفاده از بخش‌های ۲ و ۳ فیلتری طراحی کنید که هر دو این نویزها را همزمان از بین ببرد و اندازه و فاز آن را رسم کنید. خروجی حاصل از فیلتر کردن دو سیگنال با استفاده از این فیلتر را بدست آورده و رسم کنید.

۲ فشرده‌سازی تصویر با JPEG

روش‌های گوناگونی جهت فشرده‌سازی تصاویر وجود دارد که معروف‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها فشرده‌سازی با فرمت JPEG (Joint Photographic Experts Group) بوده که جزو روش‌های فشرده‌سازی همراه با اتلاف محسوب می‌شود، یعنی هنگام فشرده‌سازی مقداری از اطلاعات اولیه تصویر را از دست می‌دهیم به طوری که این اطلاعات از دست رفته غیرقابل بازیابی هستند. از قضا در این نوع فشرده‌سازی همراه با اتلاف اطلاعاتی از دست می‌روند که چشم ما به علت برخی محدودیت‌ها توانایی ادراک این اطلاعات را ندارد و نبود آنها کم و کاستی‌ای در درک ما از تصویر به وجود نمی‌آورد. در ادامه به انواع این اطلاعات می‌پردازیم:

۱.۲ جزئیات رنگی تصویر

تمام تصاویر را میتوان علاوه بر فضای RGB در فضای YC_bC_r نیز بیان کرد که در آن Y مربوط به شدت روشنایی تصویر یا Luminance بوده و C_r و C_b مربوط به اطلاعات رنگی تصویر یا Chrominance هستند. چشم انسان از دو نوع سلول‌های استوانه‌ای و مخروطی تشکیل شده است. سلول‌های استوانه‌ای نسبت به روشنایی حساس هستند و به نوعی مسئولیت دریافت بخش شدت روشنایی تصاویر یا Luminance را برعهده دارند، در حالی که سلول‌های مخروطی نسبت به سه رنگ قرمز، سبز، آبی حساس بوده و با دریافت طول موج مربوط به هر رنگ تحریک میشوند و مسئولیت دریافت اطلاعات رنگی تصویر یا همان Chrominance را برعهده دارند. تعداد سلول‌های استوانه‌ای در چشم انسان بسیار بیشتر از سلول‌های مخروطی است، در نتیجه بخش اعظم اطلاعاتی که از تصویر درک میکنیم مربوط به Luminance تصویر است و وضوح تصویری که از محیط اطرافمان داریم مربوط به این جزء تصاویر میباشد. از طرفی حجمی که بخش Chrominance تصاویر موقع ذخیره‌سازی اشغال میکنند دو برابر حجمی است که بخش Luminance آن اشغال میکند (چون هر پیکسل تصویر ۳ مولفه دارد که دو مولفه از آن همانطور که بیان کردیم مربوط به بخش رنگی تصویر میشود). پس با توجه به اینکه ما اطلاعات بسیار کمتری از بخش Chrominance تصویر دریافت میکنیم میتوانیم در مرحله اول فشرده‌سازی یک سری از اطلاعات Chrominance تصویر را دور بریزیم، یا عبارتی سیگنال مربوط به این بخش از تصاویر را Downsample کنیم. در شکل زیر از راست به چپ به ترتیب تصویر اصلی، بخش رنگی تصویر (Chrominance) و بخش روشنایی تصویر (Luminance) آورده شده اند :

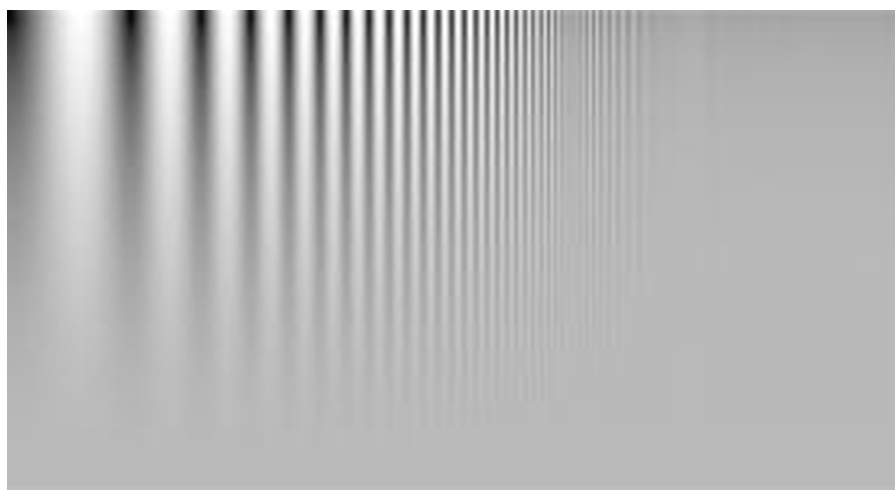


شکل ۲: تصویر اصلی، بخش رنگی و بخش روشنایی

۲.۲ مولفه‌های فرکانس بالای تصویر

مانند هر سیگنال دیگری تصاویر را نیز میتوان به مولفه‌های با فرکانس‌های گوناگون تجزیه کرد، چشم ما نسبت به برخی تغییرات سریع در اطلاعات تصویر که مربوط به فرکانس‌های بالای آن میباشد بی تفاوت است، یعنی باید دقت زیادی خرج

بدهیم تا متوجه این تغییرات و اطلاعات شویم، از طرفی این مولفه‌های فرکانسی تصاویر بخشی از حجم تصویر موقع ذخیره سازی را تشکیل می‌دهند، پس میتوان فرکانس‌های بالای تصویر را در حد مطلوب حذف کرد و بدون اینکه به درک ما از تصویر صدمه ای وارد شود تصویر را فشرده کرد. در شکل زیر از چپ به راست مولفه‌های فرکانسی تصویر افزایش پیدا میکنند، همانطور که مشاهده میکنید از یک جا به بعد تصویر بصورت یکنواخت مشاهده میشود و قابلیت درک تغییرات زیاد در فاصله کم (فرکانس بالا) را نداریم.



شکل ۳: تصویر با فرکانس‌های گوناگون در راستای افقی

با توجه به اینکه اطلاعات تصویر به دو بخش Chrominance و Luminance آن محدود میشوند در هر دو این بخش‌ها هنگام فشرده سازی باید مولفه‌های فرکانس بالا را حذف کنیم. در ادامه مشاهده خواهیم کرد هر چقدر مولفه‌های فرکانسی بیشتری از تصویر حذف کنیم امکان فشرده سازی تصویر بیشتر میشود ولی از طرفی از یک جا به بعد با افت کیفیت تصویر روبرو خواهیم شد و باید به اندازه از فرکانس‌ها حذف کنیم که هم کیفیت مطلوبی داشته باشیم و هم فشرده سازی به نحو احسن انجام گردد.

در این سوال ما مراحل ابتدایی فشرده سازی JPEG را پیاده سازی میکنیم.

۳.۲ فشرده سازی JPEG

۱.۳.۲ آشنایی با برخی پیش نیازها

۱. در مورد فرمت تصویر bmp. تحقیق کنید و خلاصه‌ای از آن را شرح دهید. فرض کنید یک موبایل دارای دوربینی با ۱۰۸ مگاپیکسل باشد، در این صورت برای ذخیره کردن این تصویر بصورت فشرده نشده به چند مگابایت فضا نیاز داریم؟

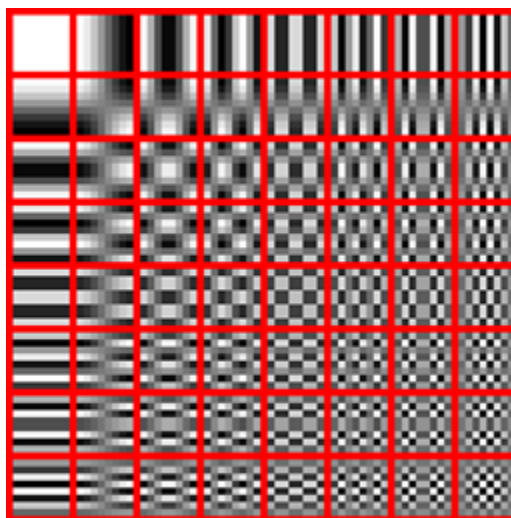
۲. در مورد تبدیل گسسته کسینوسی یا DCT (Discrete Cosine Transform) تحقیق کرده و بصورت خلاصه شرح دهید.

۲.۳.۲ تبدیل تصویر از فضای RGB به $YCbCr$ و Downsampling

یک تصویر رنگی با فرمت فشرده نشده bmp. در نظر گرفته و آن را در متلب لود کنید، تصویر لود شده را به فضای $YCbCr$ ببرید. بخش‌های رنگی تصویر را Downsample کنید، برای اینکار میتوانید این ماتریس‌ها (C_r, C_b) را به بلوک‌های 2×2 تقسیم کرده و از هر بلوک درایه اولش را نگه دارید.

۳.۳.۲ تقسیم مولفه‌های تصویر به بلوک‌های 8×8 و استفاده از تبدیل DCT دو بُعدی

در این مرحله هر کدام از ماتریس‌های مرحله قبل به بلوک‌های 8×8 در ۸ تقسیم میشوند. با توجه به اینکه جنس درایه‌های این ماتریس‌ها از نوع uint8 میباشد و مقداری صحیح از ۰ تا ۲۵۵ را شامل میشوند ابتدا این‌ها را تبدیل به double میکنیم سپس از هر درایه مقدار ۱۲۸ را کم میکنیم تا مقادیر دارای تقارن حول ۰ شوند تا از تبدیل DCT استفاده کنیم. پس از آن با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته دو بعدی هر کدام از این بلوک‌ها را به حوزه فرکانس منتقل میکنیم. خروجی این تبدیل بدین صورت است که درایه اول آنها (بالا سمت چپ) مربوط به دامنه کم فرکانس‌ترین مولفه هر بلوک است و هر چقدر به سمت راست یا پایین ماتریس برویم به ترتیب به سمت دامنه‌های فرکانس‌های افقی و عمودی بزرگتر تصویر قدم بر می‌داریم. شکل زیر این موضوع را به خوبی نشان میدهد:



شکل ۴: فرکانس‌های مربوط به هر کدام از بلوک‌های خروجی تبدیل DCT دو بُعدی

همانطور که مشاهده میشود هر چه به سمت پایین و راست بلوک حرکت کنیم به ترتیب فرکانس‌های عمودی و افقی افزایش می‌یابند.

۴.۳.۲ کوانتیزه کردن مقادیر بلوک‌ها

در این مرحله قرار است که فرکانس‌های بالاتر تصویر حذف شوند. این کار را با استفاده از جدول کوانتیزاسیون انجام میدهیم. جداول کوانتیزاسیون ماتریس‌های 8×8 ای هستند که دارای درایه‌هایی با مقادیر صحیح میباشند. کوانتیزه کردن بلوک‌های بدست آمده تحت تبدیل کسینوسی گسسته اینگونه است که هر کدام از بلوک‌ها را در نظر میگیریم و درایه‌هایش را به درایه‌های جدول کوانتیزاسیون مربوطه تقسیم میکنیم، سپس درایه‌ها را به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد (Round) میکنیم. در این مرحله بسته به اینکه جدول کوانتیزاسیون ما چگونه باشد برخی از درایه‌ها تبدیل به ۰ میشوند، در نتیجه موقع بازگردانی تصویر که قرار است درایه به درایه در جدول کوانتیزاسیونی که قبلاً بر آن تقسیم شده بودند ضرب شوند، باز هم صفر باقی خواهند ماند، این یعنی برخی فرکانس‌ها از تصویر حذف میشوند. رابطه ریاضی فرآیند کوانتیزاسیون به شکل زیر است: (D حاصل DCT یکی از بلوک 8×8 ، Q جدول کوانتیزاسیون و C حاصل کوانتیزه کردن میباشد).

$$C_{i,j} = \text{Round}\left(\frac{D_{i,j}}{Q_{i,j}}\right)$$

جداول کوانتیزاسیون استاندارد نیز به شکل زیر میباشند:

Luminance								Chrominance							
16	11	10	16	24	40	51	61	17	18	24	47	99	99	99	99
12	12	14	19	26	58	60	55	18	21	26	66	99	99	99	99
14	13	16	24	40	57	69	56	24	26	56	99	99	99	99	99
14	17	22	29	51	87	80	62	47	66	99	99	99	99	99	99
18	22	37	56	68	109	103	77	99	99	99	99	99	99	99	99
24	35	55	64	81	104	113	92	99	99	99	99	99	99	99	99
49	64	78	87	103	121	120	101	99	99	99	99	99	99	99	99
72	92	95	98	112	100	103	99	99	99	99	99	99	99	99	99

شکل ۵: جداول کوانتیزاسیون استاندارد

برای ماتریس‌های Chrominance از جدول کوانتیزاسیون سمت راست و برای Luminance از جدول سمت چپ استفاده می‌کنیم. بسته به اینکه از چه ماتریسی برای کوانتیزاسیون استفاده می‌کنیم می‌توان سطح کیفیتی برای ماتریس کوانتیزاسیون تعریف کرد که بین ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. سطح کیفیت جداول استاندارد کوانتیزاسیون را ۵۰ در نظر می‌گیریم و با Q_{50} نمایش می‌دهیم، برای برخی از کاربردها که سطح کیفیت دیگری لازم است می‌توانیم با استفاده از رابطه زیر جدول کوانتیزاسیون مورد نظر را از جداول استاندارد بدست آوریم:

$$Q_{\text{Desired}} = Q_{50} \times R, \quad R = \begin{cases} \frac{100 - \text{quality}}{50} & \text{quality} > 50 \\ \frac{50}{\text{quality}} & \text{quality} \leq 50 \end{cases}$$

یک نمونه کوانتیزه کردن حاصل DCT یک بلوک ۸ در ۸ مربوط به Luminance با جدول کوانتیزاسیون استاندارد را در تصاویر زیر مشاهده می‌کنید:

$$D = \begin{bmatrix} 162.3 & 40.6 & 20.0 & 72.3 & 30.3 & 12.5 & -19.7 & -11.5 \\ 30.5 & 108.4 & 10.5 & 32.3 & 27.7 & -15.5 & 18.4 & -2.0 \\ -94.1 & -60.1 & 12.3 & -43.4 & -31.3 & 6.1 & -3.3 & 7.1 \\ -38.6 & -83.4 & -5.4 & -22.2 & -13.5 & 15.5 & -1.3 & 3.5 \\ -31.3 & 17.9 & -5.5 & -12.4 & 14.3 & -6.0 & 11.5 & -6.0 \\ -0.9 & -11.8 & 12.8 & 0.2 & 28.1 & 12.6 & 8.4 & 2.9 \\ 4.6 & -2.4 & 12.2 & 6.6 & -18.7 & -12.8 & 7.7 & 12.0 \\ -10.0 & 11.2 & 7.8 & -16.3 & 21.5 & 0.0 & 5.9 & 10.7 \end{bmatrix}$$

شکل ۶: نمونه بلوک حاصل از DCT

$$C = \begin{bmatrix} 10 & 4 & 2 & 5 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 9 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -7 & -5 & 1 & -2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & -5 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

شکل ۷: همان بلوک پس از کوانتیزاسیون با Q_{50}

بلوک‌های حاصل از مرحله قبل را به ازای Q_k که $k \in \{1, 5, 10, 20, 50, 80\}$ کوانتیزه کنید. اینکه بیشتر درایه‌های بلوک پس از کوانتیزه کردن ۰ میشوند چه مزیتی به دنبال دارد؟ این موضوع چگونه میتواند به فشرده‌سازی تصویر کمک کند؟

۵.۳.۲ بازسازی تصاویر پس از فشرده‌سازی

عکس مراحل قبل را روی خروجی‌های حاصل از کوانتیزاسیون با کیفیت‌های گوناگون را پیاده کنید تا تصاویر فشرده شده بازسازی شوند. تصاویر بازسازی شده حاصل از فشرده‌سازی با کیفیت‌های گوناگون را نمایش داده و کیفیت‌های آن‌ها را با تصویر اصلی مقایسه کنید. این تصاویر را در فرمت jpeg. ذخیره سازی کرده و حجم تصاویر ذخیره شده را با تصویر اصلی مقایسه کنید. آیا میتوانید بگویید چرا برخی عکس‌هایی که میگیریم پس از ذخیره شدن در این فرمت دارای حجم کمتری نسبت به برخی تصاویر دیگر هستند؟

جالب است بدانید که این سه مرحله تنها مراحل اصلی و ابتدایی این فشرده‌سازی هستند و مراحل انکود کردن در این تمرین حذف شده‌اند. نکته قابل توجه این است که هر بار که ما یک تصویر با این فرمت را در موبایل یا لپ‌تاپ خود باز میکنیم فرآیند بازسازی آن به سرعتی انجام میشود که متوجه تفاوت آن با باز کردن یک عکس فشرده نشده نشده‌ایم.