



به نام خدا  
دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی برق  
سیگنال‌ها و سیستم‌ها - دکتر خلیج  
فاز دوم پروژه  
نیم سال دوم ۱۴۰۱-۱۴۰۲

حتما قبل از شروع پروژه به نکات زیر توجه کنید:

- ددلاین پروژه روز ۹ تیر ساعت ۲۳ و ۵۹ دقیقه است.
- پروژه به شکل گروهی است و باید گروه‌های خود را در داک موجود در CW وارد کنید. دقت کنید پروژه را می‌توانید به شکل انفرادی هم انجام دهید ولی هیچ نمره اضافی به شما تعلق نمی‌گیرد. همچنین توجه کنید آخرین مهلت برای ثبت گروه‌ها روز دوم تیر است و پس از آن داک بسته خواهد شد.
- برای پیاده‌سازی پروژه می‌توانید از یکی از زبان‌های Python یا MATLAB استفاده نمایید.
- پس از پایان مهلت تحویل پروژه می‌بایست آن را به صورت حضوری نیز تحویل دهید. زمان تحویل حضوری پس از ددلاین مشخص خواهد شد.
- برای پاسخ به سوالات می‌توانید آزادانه در اینترنت جست‌وجو کنید و یا با دوستان خود مشورت کنید اما پیاده‌سازی نهایی که ارائه می‌دهید حتما باید توسط خودتان صورت گرفته باشد. در غیر این صورت نمره آن سوال صفر لحاظ می‌گردد.
- برای ارسال پاسخ نهایی دو حالت برای شما وجود دارد:
  ۱. تمامی کدها و نتایج خواسته شده در سوالات را به همراه گزارش در یک فایل zip در سامانه درس افزار آپلود کنید.
  ۲. کدهای خود را روی گیت‌هاب قرار دهید و در سامانه درس افزار یک فایل زیپ شامل فقط نتایج، گزارش و لینک ریپازیتوری گیت‌هاب را قرار دهید. دقت کنید در این روش باید ریپازیتوری گیت‌هاب خصوصی باشد و آن را با طراحان سوالات به اشتراک بگذارید که ایمیل آن‌ها در فاز ۱ به شما داده شده بود. همچنین گذاشتن کدهای شما روی گیت‌هاب ۵ نمره و نوشتن کامیت‌های تمیز که روند پاسخگویی شما را مشخص کند نیز ۵ نمره امتیازی خواهد داشت.
- نوشتن گزارش با لتک ۵ نمره امتیازی دارد. توجه کنید در صورت استفاده از لتک فایل tex را نیز باید در کنار گزارش تحویل دهید.
- در صورت نیاز یک جلسه پرسش و پاسخ برای پروژه برگزار خواهد شد.

### مقدمه

هدف از این فاز پروژه نواختن یک صفحه نت موسیقی است. برای این منظور می‌خواهیم از تکنیک‌های پردازش تصویر استفاده نماییم. در بخش اول این پروژه با روش Template Matching آشنا می‌شوید که می‌توانید با استفاده از آن نت‌های موجود در صفحه را شناسایی کنید. در بخش بعدی مقداری با تئوری موسیقی آشنا می‌شوید که در این پروژه نیاز است. سپس به بررسی بخش‌های مختلف پروژه خواهیم پرداخت و بخش‌های اجباری و امتیازی پروژه را شرح خواهیم داد.

## آشنایی با روش Template Matching

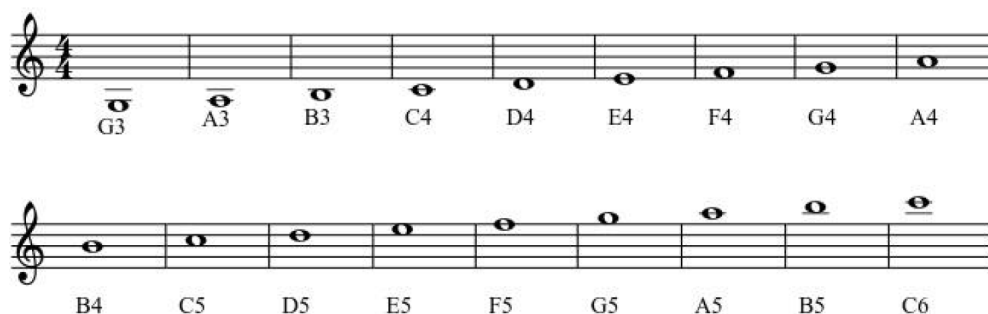
با استفاده از تابع `matchTemplate` از کتابخانه `cv2` می‌توانید مختصات هر نوت را پیدا کنید به این صورت که تصویر اصلی و تصویر چیزی که می‌خواهید پیدا کنید، را به عنوان ورودی به تابع می‌دهید و به عنوان خروجی به شما مختصات هدف‌های پیدا شده را برمی‌گرداند.

برای آشنایی با این روش شما باید در این بخش از پروژه با استفاده از این روش تصویر `template.jpg` را در تصویر `background.jpg` پیدا کنید و دور آن یک مستطیل رسم کنید. پاسخ نهایی این بخش را با نام `TemplateMatching.jpg` ذخیره کنید و تحویل دهید.

## تئوری موسیقی

همانطور که احتمالا تا به حال دیده‌اید، نت‌های موسیقی در یک صفحه روی تعدادی خط قرار می‌گیرند که به آنها خطوط حامل می‌گویند. همانطور که در شکل ۱ می‌بینید موقعیت هر دایره نسبت به این خطوط، نشان دهنده نوع آن نت می‌باشد. اسامی این نت‌ها (از  $G_3$  تا  $C_6$ ) نیز در این شکل قابل مشاهده است. عدد جلوی هر نت نشان‌دهنده شماره اکتاو آن نت می‌باشد. اما تفاوت بین این نت‌ها و اکتاوها دقیقا در چیست؟ در اینجا می‌خواهیم به بیان این موضوع بپردازیم.

ابتدا نت‌های موجود در یک اکتاو را در نظر بگیرید:



شکل ۱: نت‌ها در اکتاوه‌ای مختلف

فرض کنید در اکتاو  $k$  ام قرار داریم (بعدها به تفاوت میان اکتاوها نیز خواهیم پرداخت). در این صورت نت‌ها در این اکتاو از  $C_k$  تا  $B_k$  می‌باشند.

در این اکتاو یک فرکانس پایه  $f_k$  تعریف می‌شود و سپس هر نوت نشان‌دهنده یک فرکانس متمایز می‌باشد. به جدول زیر توجه کنید:

Note	Frequency
$C_k$ (Do)	$2^{\frac{3}{12}} f_k$
$D_k$ (Re)	$2^{\frac{5}{12}} f_k$
$E_k$ (Mi)	$2^{\frac{7}{12}} f_k$
$F_k$ (Fa)	$2^{\frac{8}{12}} f_k$
$G_k$ (Sol)	$2^{\frac{10}{12}} f_k$
$A_k$ (La)	$2^{\frac{0}{12}} f_k$
$B_k$ (Si)	$2^{\frac{2}{12}} f_k$

همان‌طور که در جدول بالا می‌بینید، در هر اکتاو هر نت دارای یک فرکانس است که مضربی از فرکانس پایه آن اکتاو می‌باشد. اما تفاوت اکتاوه‌ای مختلف در چیست؟ تفاوت آن‌ها همانطور که مشخص است همان مقدار فرکانس پایه یا  $f_k$  می‌باشد. برای اکتاو  $k$  ام داریم:

$$f_k = 2^{k-1} \times 55 \text{ Hz}$$

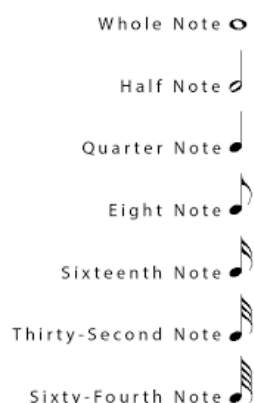
برای اینکه این بخش بیشتر واضح شود به مثال‌های زیر توجه کنید:

۱. برای نواختن نت  $A_4$  باید یک سیگنال سینوسی با فرکانس  $440 \text{ Hz} = 2^{\frac{0}{12}} \times 2^{4-1} \times 55 \text{ Hz}$  ایجاد کنیم و آن را پخش کنیم.

۲. برای نواختن نت  $F_5$  باید یک سیگنال سینوسی با فرکانس  $1397 \text{ Hz} = 2^{\frac{8}{12}} \times 2^{5-1} \times 55 \text{ Hz}$  ایجاد کنیم و آن را پخش کنیم.

به این ترتیب با ۷ نت اصلی و نحوه ایجاد آن‌ها آشنا شدید. این پروژه برای شناسایی این نت‌ها می‌توانید از روش Template Matching که در بخش قبل به شما گفته شد استفاده کنید. برای نواختن نت‌ها نیز یک فایل کمکی به نام helper.ipynb در اختیار شما قرار گرفته است که نت‌های مختلف را تولید می‌کند.

حال به سراغ طول نت‌های مختلف می‌رویم. در موسیقی همانطور که احتمالاً قبلاً دیده‌اید چند نوع نت مختلف وجود دارند که در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

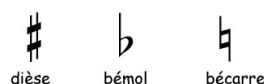


شکل ۲: اشکال مختلف نت‌ها

در این پروژه ما با ۳ نوع بالای این شکل یعنی نت گرد (Whole Note)، نت سفید (Half Note) و نت سیاه (Quarter Note) کار خواهیم کرد.

زمان نت سیاه ۱ ضرب، نت سفید ۲ ضرب و نت گرد ۴ ضرب می‌باشد. یعنی زمانی که در صفحه نت یک نت گرد می‌بینید باید زمانی معادل ۴ برابر نت سیاه به آن اختصاص دهید. این موضوع نیز در توابع موجود در فایل helper.ipynb در نظر گرفته شده‌است و شما می‌توانید تمام این نت‌ها را با استفاده از این فایل بنوازید.

به عنوان آخرین نکته مورد نیاز در این پروژه می‌خواهیم به بیان دیز و بمل پردازیم. همانطور که در جدول قبلی مشاهده کردید از برخی فرکانس‌ها استفاده نشده‌است مانند  $2^{\frac{1}{12}} f_k$ . برای استفاده از این فرکانس‌ها از نمادهای دیز و بمل مطابق شکل ۳ استفاده می‌کنیم (نماد های موجود در چپ و وسط).



شکل ۳: دیز و بمل

فرکانس‌های متناظر با این نت‌ها در جدول زیر آورده شده‌است:

Note	Frequency
$C_k \#$	$2^{\frac{4}{12}} f_k$
$D_k \#$	$2^{\frac{6}{12}} f_k$
$F_k \#$	$2^{\frac{9}{12}} f_k$
$G_k \#$	$2^{\frac{11}{12}} f_k$
$A_k \#$	$2^{\frac{1}{12}} f_k$
$D_k b$	$2^{\frac{4}{12}} f_k$
$E_k b$	$2^{\frac{6}{12}} f_k$
$G_k b$	$2^{\frac{9}{12}} f_k$
$A_k b$	$2^{\frac{11}{12}} f_k$
$B_k b$	$2^{\frac{1}{12}} f_k$

برای این موارد نیز می‌توانید از توابع موجود در helper.ipynb استفاده نمایید.

## بخش‌های اجباری پروژه

در این پروژه شما باید در تست‌هایی که به شما داده شده است نت‌ها را با استفاده از روش Template Matching تشخیص دهید و سپس با استفاده از توابع موجود در فایل helper.ipynb آهنگ مورد نظر را پخش کنید. برای هر آهنگ باید دور نت‌های شناسایی‌شده توسط خود یک مستطیل بکشید و تصویر بوجود آمده را تحویل دهید. همچنین باید خروجی‌های صوتی گرفته شده برای هر صفحه موسیقی را نیز تحویل دهید.

دقت کنید برای تشخیص نت‌ها باید از موقعیت آن‌ها نسبت به خطوط حامل استفاده کنید. برای تشخیص مختصات خطوط می‌توانید از تابع آماده cv2.HoughLinesP استفاده کنید. اگر در تشخیص مختصات خطوط حامل به مشکل خوردید می‌توانید با استفاده از نرم‌افزاری مانند paint مکان آن‌ها را پیدا کنید و به ادامه پروژه بپردازید اما ۲۵ نمره از شما کسر خواهد شد.

حال به بیان بخش‌های اجباری پروژه می‌پردازیم:

۱. تمرین داده شده در بخش آشنایی با Template Matching (۱۰ نمره)
۲. تشخیص نت‌های  $B_3$  تا  $B_5$  (۴۰ نمره). برای این بخش باید خروجی‌های متناظر با موسیقی Twinkle, Twinkle, Little Star را تحویل دهید.
۳. تشخیص نت‌های سیاه، سفید و گرد (۳۰ نمره). برای این بخش باید خروجی‌های متناظر با موسیقی Ave Maria را تحویل دهید.
۴. تشخیص علامت‌های دیز و بمل (۲۰ نمره). برای این بخش باید خروجی‌های متناظر با موسیقی Polyushka-polye را تحویل دهید.

## بخش های امتیازی پروژه

برای بخش امتیازی پروژه، شما باید خروجی متناظر با موسیقی Jane Maryam را تحویل دهید. همانطور که در این موسیقی مشاهده می‌کنید علامتی مانند شکل ۴ در آن دیده می‌شود. این علامت که یک نت سفید با یک نقطه در کنار آن است باید در ۳ ضرب نواخته شود (یعنی باید زمان آن ۳ برابر نت سیاه باشد).

برای بخش امتیازی کفایت این علامت را نیز تشخیص دهید و در این صورت ۲۰ نمره امتیازی به شما تعلق می‌گیرد و بدین ترتیب مجموعاً با گذاشتن کد خود روی گیت‌هاب و نوشتن گزارش با لتک می‌توانید تا سقف ۳۵ نمره امتیازی دریافت کنید.

$$\text{♩} = 3 \text{ beats}$$

شکل ۴: نت جدید در آهنگ جان مریم