

به نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

# تمرین کامپیوتری ۱

اصول سیستم‌های مخابراتی

دکتر صباغیان

طراحان:

محمدصابر بهادری

ثمر نیکفرجاد

امیررضا وفازاده

نیمسال اول ۱۴۰۲-۰۳

# فهرست:

مقدمه پروژه ..... صفحه ۲ ([لینک](#))

بخش اول (عیب یابی) ..... صفحه ۳ ([لینک](#))

بخش دوم (اعوجاج و همسان ساز) ..... صفحه ۵ ([لینک](#))

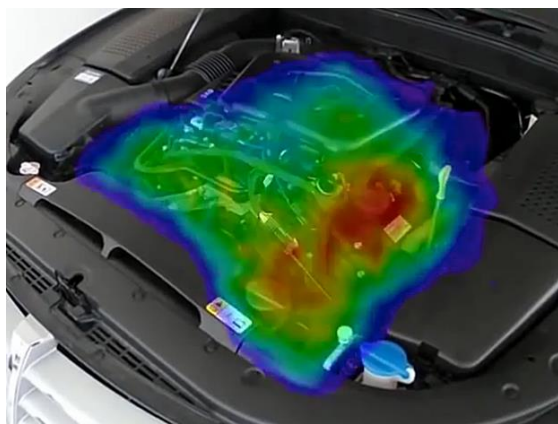
بخش سوم (نمودار زمان و فرکانس) ..... صفحه ۷ ([لینک](#))

**مقدمه : هدف از پروژه**

شما در این پروژه قرار است از دانشی که در درس سیگنال‌ها و سیستم‌ها بدست آورده‌اید استفاده کنید و با مباحث اولیه درس از جمله تابع همبستگی و چگالی طیف توان آشنا شوید. در بخش پایانی پروژه نیز با مفهوم تبدیل فوریه زمان کوتاه آشنا خواهید شد.

## بخش اول : عیب یابی

در این پروژه ابتدا قصد داریم تا با یکی از ایده های عیب یابی آشنا شویم. فرض کنید کارخانه ای برای تولید محصولش، از دو دستگاه که پشت سر هم در یک خط تولید نصب شده اند استفاده می کند. بعد از آماده شدن محصول نهایی خط تولید، مدیرعامل متوجه شده است که محصول افت کیفیت داشته است و از شما که مهندس برق هستید خواسته است مشخص کنید کدام دستگاه، درون خط تولید خراب شده و باید تعمیر شود. با توجه به شرایط خط تولید، امکان عیب یابی با آزمون و خطای مستقیم دستگاه ها وجود ندارد. داده های در اختیار شما، حاصل از ضبط صداها و مربوط به دستگاه های درون خط تولید توسط دستگاه های acoustic camera است. در واقع کاربرد اصلی این دستگاه ها، مکان یابی با استفاده از تفاوت سیگنال های دریافتی توسط میکروفون های موجود در آن هاست. اما از آنجا که در این مسئله مکان اجزای خط تولید ثابت است، کاربرد این دستگاه ها برای ضبط هارمونیک ها یا فرکانس های مختلف با دقت کافی مد نظر ما است. پس خروجی این دستگاه ها، مجموعی از هارمونیک های مختلف دریافتی از اجزای خط تولید خواهد بود. برای مطالعه ی بیشتر خارج از پروژه می توانید به منابعی همانند [این لینک](#) مراجعه کنید.



تصویر ۱: نمایی از دستگاه acoustic camera و تشخیص تفاوت صدا

در پوشه پروژه فایلی با نام VarFile.mat وجود دارد که می خواهیم با استفاده آن عیب یابی را انجام دهیم. نتایج حاصل از ضبط صداها به صورت داده های عددی در این فایل وجود دارد. برای مشاهده ی متغیرهای درون این فایل می توانید از دستور **whos** استفاده کنید. دو داده ی `device_1_New` و `device_2_New` مربوط است به روز اولی است که هر کدام از دستگاه های خط تولید خریداری شدند. در آن روز هر کدام از دستگاه ها را برای تست عملکرد به تنهایی روشن کردند و صدای هر کدام را در سلامت کاملشان ضبط کردند. داده ی `mixed_Used` نیز مربوط به خط تولید امروز کارخانه می باشد. مجموع صوت هر دو دستگاهی که با یکدیگر کار می کنند در این صوت ضبط شده است و قرار است از روی این داده، دستگاه خراب را پیدا کنیم.

### قسمت الف: تبدیل فوریه و رسم آن

(+) ابتدا داده ها را با استفاده از دستور **load** از فایل بخوانید. اگر بدانیم داده ها در بازه ای به طول ۲ ثانیه ذخیره شده اند، می توانید فرکانس نمونه برداری را بگویید؟

(+) نمودار حوزه زمان این سه داده را به تفکیک رسم نمایید.

(+) درمورد تابع **fftshift** تحقیق کنید و به طور مختصر کارکرد آن را توضیح دهید.

(+) با استفاده از توابع **fft** و **fftshift** تبدیل فوریه هر کدام از سه سیگنال ضبط شده را بدست آورده و نمودار اندازه و فاز آن را رسم نمایید.

\* برای رسم نمودارها و اسکیل بندی مناسب میتوانید از دستور axis درمتلب استفاده نمایید. همچنین توجه کنید که بازه درستی را متناسب با فرکانس نمونه برداری صوت برای محور فرکانس تعریف کنید.

### قسمت ب: تحلیل حوزه زمان

برای عیب‌یابی میتوانیم ایده‌های بسیاری را پیاده کنیم. یکی از ایده‌ها این است که از تحلیل در حوزه زمان استفاده کنیم. بدین منظور میتوانیم از میان‌همبستگی (cross correlation) استفاده کنیم که با رابطه‌ی زیر مشخص می‌شود :

$$(f * g)(\tau) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + \tau)dt$$

(+) تابعی بنویسند که دو سیگنال ورودی بگیرد و در خروجی سیگنال همبستگی آنها را محاسبه و رسم نماید. لطفا توجه کنید که در این بخش مجاز به استفاده از توابع آماده همچون **xcorr** و **conv** نمی‌باشید.

(+) فرض کنید از سیگنال mixed\_Used هر دفعه یکی از سیگنال‌های device\_1\_New و device\_2\_New را کم کنیم و هر سری سیگنال به جا مانده را با سیگنال دستگاه دیگر مقایسه کنیم (مثلا یک بار device\_1\_New را از mixed\_Used کم کنیم و نتیجه را با device\_2\_New مقایسه کنیم و بالعکس). با توجه به نتایج بدست آمده تحلیل کنید کدام دستگاه از دید شما خراب است؟

(+) از نظر شما ایراد این تحلیل چیست؟ آیا می‌توانید با ارائه روشی در حوزه زمان به تحلیل درست برسید؟

### قسمت ج: تحلیل حوزه فرکانس

در این قسمت قصد داریم که عیب‌یابی را با استفاده از تحلیلی در حوزه فرکانس انجام دهیم. برای این کار از داده‌های قسمت الف استفاده می‌کنیم و روندی مشابه قسمت ب را این بار در حوزه‌ی فرکانس انجام می‌دهیم. یعنی از تبدیل فوریه سیگنال mixed\_Used هر دفعه تبدیل فوریه یکی از سیگنال‌های device\_1\_New و device\_2\_New را کم کنیم و سیگنال به جا مانده را با تبدیل فوریه سیگنال دیگر مقایسه کنیم. (مثلا یک بار تبدیل فوریه device\_1\_New را از تبدیل فوریه mixed\_Used کم کنیم و نتیجه را با تبدیل فوریه device\_2\_New مقایسه کنیم و بالعکس).

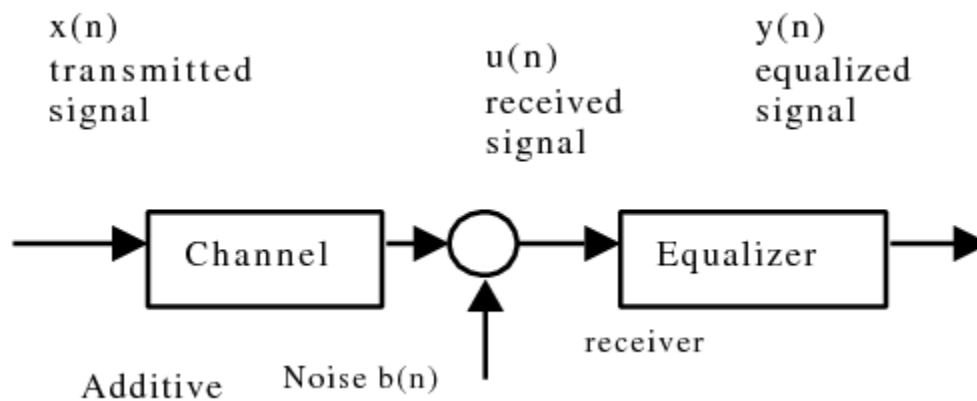
(+) با توجه به نتایج بدست آمده تحلیل کنید کدام دستگاه از دید شما خراب است؟

(+) از نظر شما از بین تحلیل در حوزه‌ی فرکانس و زمان، کدام یک برای عیب‌یابی راحت‌تر است؟ چرا؟

\* برای مقایسه می‌توانید از دستور **immse** در متلب استفاده کنید.

## بخش دوم: اعوجاج و همسان‌ساز

یکی از مشکلات رایج در سیستم‌های مخابراتی، برهم خوردن شکل موج سیگنال ارسالی است. این مشکل دلایل مختلفی همچون نویز محیط و اعوجاج به واسطه کانال دارد. با مفاهیم اعوجاج و تاخیر گروه در درس آشنا شده‌اید. همانطور که در درس با کاربرد همسان‌ساز آشنا شده‌اید، می‌خواهیم تاثیر منفی که به واسطه کانال بر روی سیگنال وارد شده است را خنثی کنیم.



تصویر ۲: شکل کلی مراحل ارسال تا دریافت سیگنال در مخابرات (وجود نویز در این پروژه در نظر گرفته نشده است).

همانطور که می‌دانید، هنگام ارسال و دریافت سیگنال‌ها، از ابزار و دستگاه‌های مختلف استفاده شده و سیگنال از محیط‌های مختلف با مشخصات مخصوص به خود عبور می‌کند. فرض کنید سیگنال *mixed\_Used* از کانال زیر عبور می‌کند:

$$h_c(t) = 0.7\delta(t - 0.17) + 0.9\delta(t - 0.55)$$

(+) پاسخ فرکانسی این کانال را به صورت دستی محاسبه کنید.

(+) با توجه به رابطه‌ی زیر، به شرط اینکه  $k_{eq} = 1$  و  $t_d = 0$  باشد پاسخ فرکانسی همسان‌ساز را به صورت دستی محاسبه کنید. و نام همسان‌ساز را  $H_{eq}(f)$  در نظر بگیرید.

$$H_c(f)H_{eq}(f) = k_{eq} e^{-j2\pi f t_d}$$

(+) با استفاده از مفهوم تاخیر گروه بیان کنید که سیستم مفروض، اعوجاج از نوع فازی را در فرستادن اطلاعات ایجاد خواهد کرد یا خیر.

(+) در نرم افزار متلب اندازه و فاز پاسخ فرکانسی  $h_c(t)$  را رسم کنید.

(+) همانطور که می‌دانید سیگنال ورودی با  $h_c(t)$  در حوزه زمان کانال می‌شوند. اگر  $z(t) = h_c(t) * mixed\_Used(t)$  آنگاه نمودار حوزه زمان  $z(t)$  را رسم کنید.

(+) در نرم افزار متلب سعی کنید همسان سازی طراحی کنید که اثر اعوجاج سیستم را برطرف کند و سیگنال بدست آمده را در حوزه فرکانس و حوزه زمان رسم نمایید.

(+) تابع  $H_{eq}(f)$  که به صورت دستی محاسبه کردید را در نرم افزار متلب بنویسید و با تاثیردهی آن به سیگنال خروجی کانال  $z(t)$ : سیگنال با اعوجاج) نتایج را در حوزه فرکانس و حوزه زمان رسم کنید.

(+) نتایج دو بخش پیش را با یکدیگر مقایسه کرده و نتیجه را گزارش کنید.

(+) با استفاده از تابع همبستگی که در بخش قبل نوشتید و محاسبه  $R_x(\tau)$ ,  $R_{yx}(\tau)$ ,  $R_y(\tau)$  طرفین تساوی های زیر را رسم کرده و مقایسه کنید.

$$R_{yx}(\tau) = R_x(\tau) * h(\tau)$$

$$G_y(f) = G_x(f) \cdot |H(f)|^2$$

\* برای بدست آوردن تابع چگالی طیف توان از تابع همبستگی متناظر آنها فوریه بگیرید.

\* در اینجا ورودی را سیگنال  $mixed\_Used(t)$  و پاسخ ضربه را  $h_c(t)$  در نظر بگیرید.

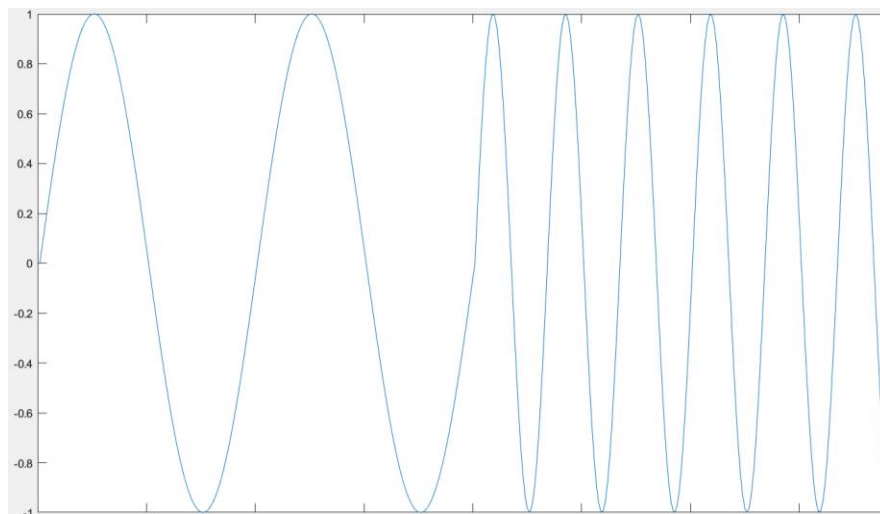
(+) میانگین مجذور خطای دو طرف تساوی را در هر دو حالت محاسبه کنید.

**بخش سوم : نمودار زمان و فرکانس**

در این بخش می‌خواهیم با مفهوم تبدیل فوریه زمان کوتاه یا به اختصار STFT آشنا شویم.

(+) ابتدا در مورد ماهیت و اصل تبدیل فوریه زمان کوتاه تحقیق کنید و توضیح مختصری در مورد یافته‌های خود بدهید.

(+) همانطور که در تحقیقات خود دریافتید وقتی سیگنالی در حوزه زمان رسم می‌شود، به طور مستقیم اطلاعاتی از حوزه فرکانس به ما نمی‌دهد و اگر تبدیل فوریه سیگنالی را رسم کنیم، به طور مستقیم اطلاعاتی در مورد حوزه زمان به ما نمی‌دهد. این موضوع در مواردی باعث سردرگمی و ابهام ما می‌شود.



تصویر ۳: نمودار یک سیگنال در حوزه زمان

مثلاً در سیگنال بالا به وضوح مشاهده می‌کنید که از زمانی به بعد، فرکانس سیگنال زمانی تغییر می‌یابد. اما اگر ما از سیگنال بالا تبدیل فوریه بگیریم، خروجی تبدیل فوریه بدست آمده با خروجی تبدیل فوریه در حالتی که دو فرکانس از اول تا آخر با یکدیگر و مشترکاً انتشار می‌یابند یکسان است. در صورتی که می‌دانیم این دو حالت با یکدیگر متفاوت هستند.

(+) دو سیگنال زیر را در بازه  $0 < t < 9$  با گام‌های ۰.۰۱ در نظر بگیرید.

$$s_1(t) = \sin(2\pi 20t) + \sin(2\pi 40t)$$

$$s_2(t) = \begin{cases} \sin(2\pi 20t), & 0 < t < 5 \\ \sin(2\pi 40t), & 5 < t < 9 \end{cases}$$

(+) نمودار حوزه زمان این دو سیگنال را رسم نمایید.

(+) نمودار اندازه و فاز حوزه فرکانس این دو سیگنال را رسم نمایید.



(+) ابتدا با استفاده از تابع `spectrogram(x, window – size, noverlap, nfft, fs)` سعی کنید تشخیص دهید که در بازه های زمانی مختلف، سیگنال دارای چه فرکانس‌هایی است. درمورد آرگومان های این تابع تحقیق کنید و آنها را به گونه‌ای تغییر دهید تا بتوانیم به رزولوشن بالایی در حوزه فرکانس برسیم.

(+) با توجه به اطلاعاتی که بدست آوردید به نظرتان ایراد اصلی تبدیل فوریه زمان کوتاه چیست؟

**نکات تحویل**

۱- مهلت تحویل این تمرین روز ۱۹ آبان ماه ۱۴۰۲ می‌باشد.

۲- انجام این تمرین به صورت انفرادی است.

۳- برای انجام این تمرین تنها مجاز به استفاده از MATLAB هستید.

۴- در صورت وجود تقلب نمره تمامی افراد شرکت کننده در آن نمره صفر لحاظ می‌شود.

۵- در صورتی که از منبعی برای هر بخش استفاده می‌شود، حتماً لینک مربوط به آن در گزارش آورده شود. وجود شباهت بین منبع و پیاده‌سازی در صورت ذکر منبع بلامانع است. اما در صورت مشاهده شباهت با مطالب موجود در سایت‌های مرتبط نمره کسر می‌گردد.

۶- نتایج و تحلیل‌های شما در روند نمره‌دهی دستیاران آموزشی تأثیرگذار است.

۷- لطفاً گزارش، فایل کدها و سایر ضمائم مورد نیاز را با ترتیب نام گذاری زیر در صفحه درس در سامانه بارگذاری کنید:

CA#1\_[Last name]\_[Student number].zip

۸- در صورت وجود هر گونه ابهام یا مشکل می‌توانید از طریق ایمیل با طراحان پروژه در تماس باشید:

- محمدصابر بهادری: m.saberbahadori@gmail.com
- ثمر نیک فرجاد: samarnikfarjad@gmail.com
- امیررضا وفازاده: Ar.vafazadeh@ut.ac.ir