



به نام خدا
سیگنال و سیستم - دکتر صالح کلیبر
تمرین کامپیوتری سری دوم

95-1

تبدیل Z یکی از مهمترین تبدیلات حوزه پردازش سیگنال است. اکنون تقریباً تمام کارهای پردازش سیگنال به صورت گسسته در زمان انجام میشود، تبدیل Z - که مهمترین تبدیل حوزه گسسته در زمان است - باعث آسان شدن امور پردازشی در این حوزه میشود.

تبدیل Z به نحوی شباهت زیادی به تبدیل لاپلاس دارد. تبدیل لاپلاس که در کلاس درس با آن آشنا شده اید، در حوزه پیوسته در زمان تعریف میشود و سیگنال را از حوزه زمان به حوزه S میبرد. حوزه S معمولاً به صورت مختصات دکارتی معرفی میشود که در آن $s = \sigma + j\omega$ که σ بخش حقیقی S و ω بخش موهومی S میباشد. رابطه کلی تبدیل لاپلاس به صورت زیر میباشد:

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

همچنین میدانیم که مرزهای همگرایی در تبدیل لاپلاس به صورت خطوط موازی محور $j\omega$ وجود دارند.

تبدیل Z در دنیای گسسته و برای سیگنالهای گسسته زمان تعریف میشود. تعریف کلی تبدیل Z و عکس آن به صورت زیر میباشد:

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]z^{-n} \quad \text{رابطه 1}$$

$$x(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_C X(z)z^{n-1} dz$$

در اینجا Z به صورت $re^{j\omega}$ تعریف میشود و در مختصات دایروی تعریف میشود. در اینجا r اندازه Z و ω فاز Z میباشد. در این تبدیل در صورتی که سری رابطه 1 همگرا باشد، میگوییم تبدیل Z برای $x[n]$ تعریف میشود و به نقاطی که به ازای آن ها سری جواب دارد نقاط همگرایی (ROC) $x(n)$ میگوییم. در اینجا به ازای قرار دادن $z = e^{j\omega}$ (یعنی $r=1$) به تبدیل فوریه گسسته میرسیم. $e^{j\omega}$ همان دایره واحد میباشد که فاز آن از $+\pi$ تا $-\pi$ تغییر میکند.

مرزهای نواحی همگرایی در تبدیل Z به صورت دایری به مرکز مبدا تعریف میشوند و اگر دایره واحد درون ناحیه همگرایی باشد، آن سیگنال تبدیل فوریه گسسته دارد.

ضرایب تبدیل Z میتواند محدود و متناهی یا نامحدود باشند.

یکی از کاربردهای مهم تبدیل Z طراحی فیلترهای دیجیتال است. در این تمرین قصد داریم که با استفاده از نرم افزار **MATLAB** مطالبی را در مورد فیلترهای دیجیتال و کاربرد آن ها بیاموزیم. در این تمرین پردازش صوت به عنوان یک نمونه فوق العاده مهم در پردازش سیگنال هدف قرار داده شده.

از ابتدا به این نکته توجه کنید که **MATLAB** با سیگنالهای گسسته کار می کند و هر جا از شما سیگنال پیوسته خواسته شد منظور یک سیگنال گسسته با نمونه های زیاد است.

بخش اول:

در این بخش به یکی از مهمترین و اساسی ترین کاربرد های پردازش سیگنال یعنی حذف اکو میپردازیم.

در هنگام ضبط صدا علاوه بر صدای اصلی که به صورت مستقیم به میکروفون میرسد، صداهایی نیز که حاصل از انعکاس و برخورد سیگنال صوتی با اشیاء محیط است نیز دریافت میشود. این صوت ها در حقیقت نمونه همان صوت اصلی ولی با دامنه کمتر و یک تاخیر زمانی هستند.

در کاربردهای مخابراتی نیز سیگنال دریافتی در گیرنده دارای نمونه های تاخیر یافته سیگنال اصلی با دامنه کمتر می باشد.

به این نمونه ها اکوی صدا میگویند. حذف اکو در سیستم های پردازش صوت و گیرنده های مخابراتی بسیار مهم می باشد. مدل ریاضی اکو به صورت زیر می باشد:

$$y[n] = x[n] + \sum_{i=1}^{\text{number of paths}} \alpha_i x[n - n_i] \quad \text{مدل 1:}$$

که در آن α_i دامنه و n_i تعداد نمونه تاخیری سیگنال اکو می باشد. همانگونه که مشاهده می شود در حالت کلی بینهایت نمونه اکو شده وجود دارد ولی در عمل همه برخوردها اهمیت ندارند و فقط آنهایی که دامنه قابل مقایسه با سیگنال اصلی دارند باید حذف شوند. برای سادگی کار فرض کنید که فقط یکی از سیگنال های برخوردی دارای دامنه قابل مقایسه با سیگنال اصلی می باشد.

$$y[n] = x[n] + \alpha_1 x[n - n_1] \quad \text{مدل 2:}$$

در این بخش سعی کنید از مفاهیم ارائه شده در فصل تبدیل Z هیچ گونه استفاده ای نشود و معکوس سیستم را **بدون** استفاده از تبدیلات Z یا فوریه به دست آورید.

(۱) با استفاده از تابع *audioread* فایل صوتی ضمیمه شده را بخوانید. Fs آن را بیابید. حال با استفاده از دستور *sound* این فایل را پخش کنید.

راهنمایی: تابع *audioread* دارای بیش از یک خروجی میباشد.

(۲) حال با استفاده از مدل 2 سیگنال x را با تاخیر یافته خودش جمع کنید. $\alpha = 0.5$ و n_1 را به نحوی انتخاب کنید که تاخیر زمانی بین 500 میلی ثانیه گردد. (با توجه به Fs آن را بیابید، نحوه به دست آوردن را در گزارش کاملاً توضیح دهید.) سیگنال خروجی را رسم کرده و با سیگنال اصلی مقایسه کنید. مقدار α و n_1 را در گزارش ذکر کنید. راهنمایی: از حلقه زیر استفاده کنید:

```
for i = D + 1 : 1 : sound_len;
    eco_sound(i) = sound(i) + a*sound(i-n1);
end;
```

صدای دارای اکو را در فایل *eco_sound* ذخیره کنید. (حتماً در هنگام آپلود موجود باشد.)

(۳) معادله تفاضلی داده شده را می توان به صورت پاسخ یک سیستم گسسته LTI با پاسخ ضربه

$$y[n] = \delta[n] + \alpha_1 \delta[n - n_1]$$

در نظر گرفت. برای حذف اکو باید سیستم معکوس h را روی سیگنال $y[n]$ اعمال نمود. نمونه های سیستم معکوس را به دست آورده و آن ها را رسم کنید. نحوه به دست آوردن سیستم معکوس را به صورت کامل در گزارش ذکر نمایید.

راهنمایی: تعداد محدودی از ضرایب سیستم معکوس را در نظر بگیرید. (چرا؟)

(۴) حال با استفاده از دستور فیلتر سیگنال $y[n]$ را روی معکوس به دست آمده اعمال کنید.

خروجی باید صوت اولیه باشد. خروجی را با استفاده از دستور *sound* پخش کنید و از صحت کار خود مطمئن گردید.
 نکته: در کاربرد های عملی مقدار تاخیر و گین کانال مشخص میباشد. برای به دست آوردن α و n_1 معمولاً از توابع خود همبستگی استفاده میشود. این توابع شباهت سیگنال ورودی را در یک لحظه با لحظات بعدی مقایسه میکنند و هر جا که میزان شباهت ماکسیمم بو مشخص میشود که آنجا اکو داریم و اکو حذف میشود. در صورت علاقه مندی بیشتر به این موضوع به کتاب سیستم های مخابرات *Carlson* مراجعه کنید.

(۵) آیا موفق به حذف اکو به صورت کامل میباشید؟ با زیاد کردن ضرایب استفاده شده در سیستم معکوس چه رخ میدهد؟

(۶) امتیازی: روشی برای حذف اکو با مدل زیر پیشنهاد کرده و قسمت های 10 تا 12 را برای آن انجام دهید.

$$y[n] = x[n] + \alpha_1 x[n - n_1] + \alpha_2 x[n - n_2]$$

بخش دوم:

در صورتی که از مدل 2 تبدیل Z بگیرید ، معادله به صورت زیر تغییر میکند.

$$Y(z) = X(z) + \alpha_1 X(z)Z^{-n_1}$$

پس تابع تبدیل آن بدین صورت است:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = 1 + \alpha_1 Z^{-n_1}$$

عبارت بالا معادل فیلتری با یک ضریب 1 و یک ضریب α_1 و (n_1-2) ضریب صفر است. همچنین مخرج این فیلتر یک می باشد.

برای حذف اثر اکو میتوان صدای اکو شده را از فیلتری با مخرج $1 + \alpha_1 Z^{-n_1}$ و صورت یک عبور داد.

(۷) در این بخش به طراحی فیلتر مورد استفاده می پردازیم. برای تعریف و استفاده از فیلتر ها در *MATLAB* راه های فراوانی وجود دارد. در این بخش فیلتر را با استفاده از تعریف دستی صورت و مخرج آن تعریف میکنیم. متغیر های زیر را تعریف کنید.

```
NUM=1;
DEN=[1 zeros(1,n1-1) a];
```

با استفاده از دستور *filt* و دادن صورت و مخرج به عنوان ورودی فیلتر خود را مشاهده کنید. (در انتهای خطی که این دستور را مینویسید از ";" استفاده نکنید، تا نتیجه در *Command Window* ظاهر شود).

با استفاده از دستور *freqz* و دادن صورت و مخرج به عنوان ورودی، پاسخ فرکانسی فیلتر را مشاهده فرمایید.

سؤال: به نظر شما چرا پاسخ فرکانسی بدین صورت در آمده است؟

(۸) با استفاده از دستور زیر فایل *eco_sound* (که خودتان از قسمت قبل ساخته اید) را ازین فیلتر عبور دهید.

```
modified_sound=filter(NUM,DEN,eco_sound);
```

فایل خروجی را پخش کنید و از صحت کار خود مطمئن شوید.

(۹) حال فرض کنید اکوی ایجاد شده بدین صورت است.

$$y[n] = x[n] + \alpha_1 x[n - n_1] + \alpha_2 x[n - n_2]$$

$$\alpha_1 = 0.5 \quad \alpha_2 = 0.3$$

$$n_1 = 300ms \quad n_2 = 500ms$$

حال با استفاده از مراحل بالا ابتدا در فایل صوتی داده شده (*sound.wav*) یک اکو درست کنید(آن را در *eco_sound2* ذخیره کنید).

سپس با استفاده از مطالب بالا اکوی مورد نظر را با استفاده از طراحی یک فیلتر جدید حذف کنید.

دقت کنید که انجام این بخش اجباری و سهم ویژه ای در نمره تمرین دارد.

بخش سوم:

در این بخش به طرح و حل مسئله ای دیگر در حوزه پردازش صدا می پردازیم. گاهی اوقات در اثر مشکلات ساخت ابزار آلات ضبط صدا یک نویز با فرکانس میانی به صدا اضافه میگردد. حذف این نویز به سادگی با استفاده از یک فیلتر میان گذر امکان پذیر میباشد. در این بخش با ابزار *fdatool* آشنا میشویم.

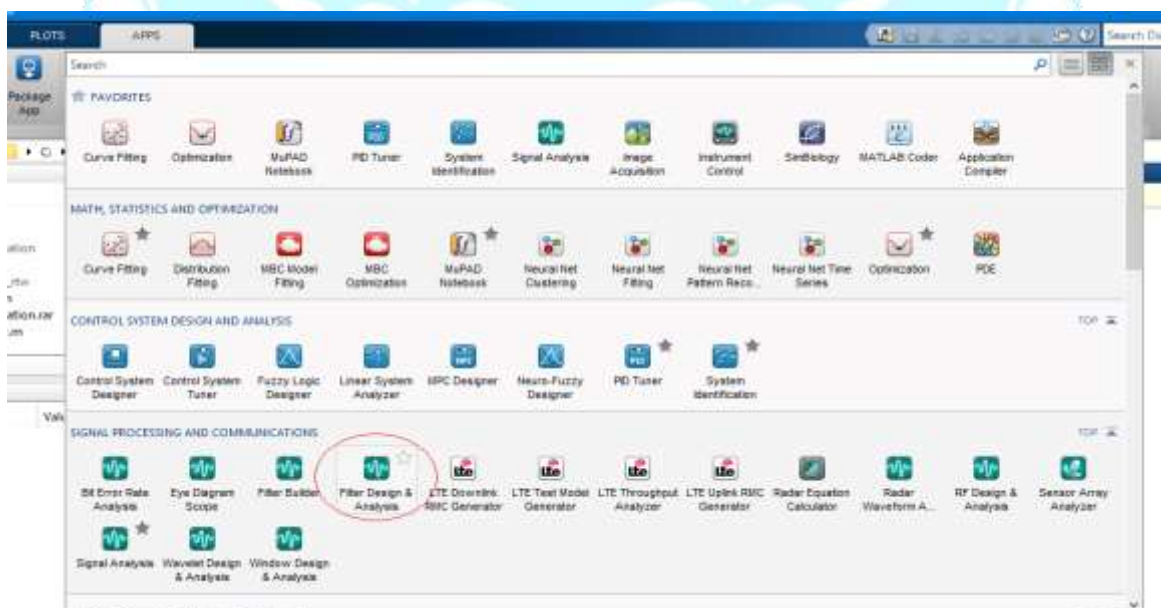
(۱۰) با استفاده از تابع *wavread* فایل صوتی *sound-nois.wav* را بخوانید. F_s آن را بیابید. حال با استفاده از دستور *sound* این فایل را پخش کنید. مشاهده می کنید که این فایل حاوی یک صدای پر از نویز می باشد.

(۱۱) حال با استفاده از دستور *fft* پاسخ فرکانسی آن را رسم کنید. بازه $[0, F_s/2]$ به نظر شما مشکل از کجاست؟ راه حل را شرح دهید.

(۱۲) حال با استفاده از ابزار *fdatool* فیلتری طراحی کنید که مشکل را حل کند. پاسخ فرکانسی فیلتر مورد استفاده را رسم کنید.

Fdatool : ابزار *filter design and analysis* در **MATLAB** یکی از ابزار های آسان و پر استفاده برای طراحی انواع فیلتر های دیجیتال می باشد.

برای استفاده از این ابزار ، در زبانه **APPS** در **MATLAB** ابزار *filter design and analysis* را انتخاب می کنیم.



حال در ابزار ظاهر شده ، می توان فیلتر مربوطه را ساخت و استفاده کرد. در قسمت *Response type* می توان نوع فیلتر را انتخاب کرد. (پایین گذر، بالا گذر و ...) در قسمت *design method* تعیین می کنید که فیلترتان *IIR* باشد یا *FIR*. فیلترهای *FIR* فیلترهای دیجیتالی هستند که مهم ترین مشخصه آن ها این است که در باند عبور خود فاز خطی دارند. (در این بخش از فیلتر *FIR* استفاده کنید.) در قسمت های بعدی نیز مشخصات فیلتر دلخواه خود مانند درجه فیلتر (گزینه *Minimum order* در بسیاری از موارد کافی می باشد.) و فرکانس های قطع و مقادیر تضعیف را وارد میکنید. دقت کنید که حتما F_s را همان F_s بقیه پروژه در نظر بگیرید. بعد از وارد کردن مشخصات فیلتر گزینه *Design filter* را انتخاب کنید، تا *MATLAB* فیلتر دلخواه شما را طراحی کند.

حال برای استفاده از فیلتر در کدتان راه های متنوعی وجود دارد. یکی از آن ها این است که از منوی *File* گزینه - *Generate MATLAB Code* و بعد گزینه *Filter Design Function* را انتخاب و آن را در همان پوشه ای که کد می زنید ، ذخیره کنید. حال در کدتان از آن استفاده کنید. برای مثال اگر نام فیلتر خود را *SigFilt* ذخیره کرده اید. برای استفاده از آن در کدتان اینگونه بنویسید.

```
SigFilt = SigFilt ();
```

```
Filtred_Signal=filter(SigFilt,yoursignal);
```

(۱۳) حال با استفاده از فیلتر طراحی شده سیگنال صوتی ورودی را فیلتر کنید. از خروجی فوریه بگیرید و پاسخ فرکانسی آن را رسم کنید. آن را پخش کنید.

(۱۴) یک فیلتر چبی شف با مشخصات زیر طراحی کنید و پاسخ فرکانسی آن را رسم کنید.

فرکانس قطع باند عبور: 2200Hz

فرکانس قطع باند ایست: 2600Hz

حداکثر تضعیف در باند عبور: 2db

حداقل تضعیف در باند ایست: 7db

تذکر: برای طراحی فیلتر چبی شف می توان با استفاده از *fdatool* یک فیلتر *IIR* از نوع چبی شف و مشخصات دلخواه استفاده کرد.

(۱۵) خروجی سوال 13 را از فیلتر بگذرانید. پاسخ فرکانسی خروجی را رسم کنید و آن را پخش کنید.

(۱۶) با استفاده از تابع *wavwrite* خروجی را در یک فایل جدید ذخیره کنید. (*finalsound.wav*)

نکته 1: گزارش خود را تا حد امکان کامل بنویسید. در فایل گزارش می بایست تمامی نمودارها و توضیحات خواسته شده قرار گرفته باشد به طوری که بدون مراجعه به کد، قابل فهم باشد.

نکته 2: کل نمره تمرین کامپیوتری شما به چند قسمت دسته بندی می شود که تنها یک قسمت آن به کدهای زده شده اختصاص می یابد و بخش های دیگر نمره مربوط به گزارش و تحویل حضوری می باشد. پس اگر گزارش شبیه سازی ناقص یا نا مفهوم باشد نمره گزارش کسر خواهد شد. دقت کنید که هر فرد باید به تنهایی گزارش خود را تحویل دهد. در صورتی که گزارش های یکسان توسط افراد مختلف تحویل داده شوند، علاوه بر نمره گزارش از نمره تحویل حضوری تمامی آن افراد کسر خواهد شد.

نکته 3: از ارجاع دادن به کد خود داری فرمایید.

در پایان در صورتی که سوالی برای شما ایجاد شد با ایمیل javadfallah@ut.ac.ir در میان بگذارید.

با آرزوی موفقیت