

به نام خدا



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده برق و کامپیوتر



تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها و سیستم‌ها

تمرین کامپیوتری شماره ۲

استاد: صدف صالح کلیر

ترم بهار ۱۳۹۷

سؤال 1

در این سوال قصد داریم با طراحی فیلتر و ابزار fdatool در متلب آشنا شویم.

الف) با استفاده از دستور audioread فایل sound_noisy را وارد متلب کرده فرکانس نمونه برداری آن را استخراج نمایید.

ب) با استفاده از دستور fft (که در تمرین کامپیوتری اول با آن آشنا شده اید) به تحلیل فرکانسی این سیگنال پردازید و دامنه را در بازه فرکانسی 0 تا $F_s/2$ رسم نمایید (F_s : فرکانس نمونه برداری). تداخل آزاردهنده در کدام فرکانس قرار دارد؟

ج) با استفاده از ابزار fdatool یک فیلتر میان گذر از نوع FIR با کمترین درجه ممکن بیابید که تداخل موجود در سیگنال را فیلتر کند. مقادیر حداکثر تضعیف و فرکانس قطع (cutoff) را می توانید به دلخواه برای رسیدن به بهترین نتیجه ممکن تنظیم نمایید.

د) ضرایب فیلتر را به فضای workspace متلب export نموده با استفاده از freqz دامنه و فاز فیلتر را رسم نمایید.

ه) با استفاده از دستور sound سیگنال عبور داده شده از فیلتر را بشنوید، و با استفاده از دستور audiowrite آنرا در قالب یک فایل صوتی با نام noise_free.wav ذخیره نمایید.

و) این بار فایل noise_free.wav را از یک فیلتر FIR پایین گذر با جزئیات زیر:

- 1- Approximation: Equiripple
- 2- Passband cutoff frequency: 1500 Hz
- 3- Stopband cutoff frequency: 2000 Hz
- 4- Order: 35

عبور داده موارد زیر را انجام دهید:

- ۱- صوت را قبل و بعد از اعمال فیلتر بشنوید.
- ۲- شکل موج صوت را در حوزه زمان پیش و پس از اعمال فیلتر، زیر هم، رسم نمایید. در حوزه زمان، این فیلتر چه تأثیری داشته است؟
- ۳- اندازه ی fft سیگنال را قبل و بعد اعمال فیلتر رسم نمایید.

۴- ضرایب فیلتر را به workspace منتقل نموده با استفاده از دستور freqz دامنه و فاز فیلتر را رسم کنید.

۵- این فایل صوتی را با نام modified.wav ذخیره نمایید.

درسنامه

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

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 می شود و سیگنال را از حوزه زمان به حوزه s می برد. حوزه s معمولاً به صورت مختصات دکارتی معرفی می شود که در آن $s = \sigma + j\omega$ که σ بخش حقیقی s و ω بخش موهومی s می باشد. رابطه کلی تبدیل لاپلاس به صورت زیر می باشد:

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

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

تبدیل Z در دنیای گسسته و برای سیگنال های گسسته زمان تعریف می شود. تعریف کلی تبدیل Z و عکس آن به صورت زیر می باشد:

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]z^{-n} \quad \text{رابطه ۱}$$

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

در اینجا z به صورت $re^{j\omega}$ تعریف می شود و در مختصات دایروی تعریف می شود. در اینجا r اندازه z و ω فاز z می باشد. در این تبدیل در صورتی که سری رابطه ۱ همگرا باشد، گوئیم تبدیل Z برای $x[n]$ تعریف می شود و به نقاطی که به ازای آن ها سری جواب دارد نقاط همگرایی (ROC) $x(n)$ می گوئیم. در اینجا به ازای قرار دادن $z = e^{j\omega}$ (یعنی $r=1$) به تبدیل فوریه گسسته می رسم. $e^{j\omega}$ همان دایره واحد می باشد که فاز آن از $+\pi$ تا $-\pi$ تغییر می کند.

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

ضرایب تبدیل Z می توانند محدود و متناهی یا نامحدود باشند.

یکی از کاربرد های مهم تبدیل Z طراحی فیلتر های 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 است.

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

سؤال 2

در این سوال قصد داریم به بررسی کاربرد تبدیل Z در طراحی فیلترها بپردازیم.

الف) در تمرین کامپیوتری اول، با نحوه ورود(import) یک سیگنال صوتی به متلب آشنا شدید. فایل صوتی sound.wav را باز کرده، F_s آنرا استخراج نموده آنرا بشنوید. با توجه به آنچه در درس آموختید، توضیح دهید نقش پارامتر F_s چیست.

ب) با توجه به مقدار F_s استخراج شده، سیگنال را به میزان 500ms تأخیر داده، دامنه آنرا در ۰,۴ ضرب کرده و با سیگنال اصلی جمع کنید. با این کار، سیگنال صوتی شما دارای اکو شده است. حال این سیگنال جدید را با نام eco_voice بصورت فایل صوتی ذخیره نمایید.

ج) تاکنون در واقع یک سیستم LTI با پاسخ ضربه $h[n] = \delta[n] + \alpha_1 \delta[n-n_1]$ به سیگنال اصلی اعمال شده است. بدیهی است برای حذف اکو باید معکوس این سیستم را به سیگنال دارای اکو اعمال نمود.

نمونه های سیستم معکوس را بدست آورده آنها را رسم نمایید. نحوه بدست آوردن سیستم معکوس را بطور کامل در گزارش خود تشریح نمایید.

راهنمایی: تعداد محدودی از ضرایب سیستم معکوس را در نظر بگیرید

د) حال سیگنال دارای اکو را از سیستم معکوس بدست آمده عبور دهید. سیگنال حاصل را پخش نمایید. آیا اکو از سیگنال حذف شد؟

ه) تعداد ضرایب سیستم معکوس را افزایش داده دو مرحله قبل را تکرار کنید. افزایش ضرایب، چه تأثیری در سیگنال بازسازی شده دارد؟ چه تعداد از ضرایب می تواند برای یک بازسازی قابل قبول از نظر سیستم شنوایی انسان، کافی باشد؟ (به معنای نامحسوس بودن تفاوت دو سیگنال)

و) با رسم تفاضل سیگنال اولیه (اصلی) و سیگنال بازسازی شده به ازای تعداد ضرایب متفاوت از گام "ج"، با رسم نمودارهای زیر هم(subplot دستور) تأثیر این افزایش تعداد ضرایب را دقیقتر بررسی نموده راجع به آن توضیح دهید.

حال می خواهیم با استفاده از تبدیل Z این حذف اکو را عملیاتی کنیم.

(ز) نتیجه آنچه تاکنون بر سیگنال اعمال شده است، در حوزه زمان چنین است:

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

نتیجه این تغییرات در حوزه تبدیل Z چنین می باشد:

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

لذا تابع تبدیل بصورت زیر خواهد بود:

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

که این عبارت معادل فیلتری با یک ضریب ۱ و یک ضریب α_1 و n_1-2 ضریب صفر است. همچنین مخرج آن یک می باشد.

لذا برای حذف اکو باید فیلتری با مخرج $1 + \alpha_1 Z^{-n_1}$ مورد استفاده قرار گیرد.

با تعریف متغیرهای NUM و DEN بصورت زیر:

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

از دستور `filt` استفاده کرده صورت و مخرج را بعنوان ورودی فیلتر خود اعمال نمایید.

با استفاده از دستور `freqz` (آن دسته از دانشجویان که سوال امتیازی تمرین اول را انجام داده اند، آشنایی مقدماتی ای با این تابع دارند) و دادن صورت و مخرج به عنوان ورودی، پاسخ فرکانسی این فیلتر را ملاحظه نموده در گزارش خود ثبت نمایید.

تحلیل خود را راجع به این پاسخ فرکانسی (علت اینکه به این صورت بدست آمده است) بنویسید.

(ح) با استفاده از دستور زیر، فایل `eco_voice` را از این فیلتر عبور دهید. خروجی را پخش کرده از صحت عملکرد آن مطمئن شوید. سپس با رسم نمودار تفاضلی (مشابه گام "و") به بررسی دقیقتر نتیجه بپردازید.

ط) این بار اکو را با این مشخصات به سیگنال اولیه اعمال نموده، نتیجه را در فایل صوتی eco_voice2 ذخیره نمایید.

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

معادل ۶۰۰ میلی ثانیه تأخیر: n_2 , معادل ۳۰۰ میلی ثانیه تأخیر: n_1 , $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.25$

به روش اخیر، فیلتر جدیدی برای حذف این نویز طراحی نموده تمام مراحل بالا را برای آن انجام دهید.

سؤال 3

در تمرین کامپیوتری اول با نمونه برداری از سیگنال ها و نحوه بازسازی آنها آشنا شدید. همچنین در درس با نرخ نایکوئیست آشنا شده اید. در این تمرین به بررسی کاربردهای عملی نمونه برداری می پردازیم.

(الف) فایل صوتی sound.wav را با دستور audioread بخوانید. طول دنباله صدا و فرکانس نمونه برداری را درج نمایید.

(ب) از این بردار صوتی با نرخ 4kHz نمونه برداری کنید و صوت حاصل را با نرخ Fs بشنوید. چه اتفاقی رخ می دهد؟ نرخ مناسب برای پخش این سیگنال جدید کدام است؟

(ج) با استفاده از دستور obw(x,fs) و نیز به کمک subplot برای دو سیگنال صوتی فوق (سیگنال اصلی و نمونه برداری شده) به رسم سیگنال های صوتی خود پردازید. منظور از 99% occupied B.W. در این نمودارهای خروجی چیست؟

* راهنمایی: ورودی دوم برای سیگنال اصلی همان Fs و برای سیگنال دوم همان فرکانسی است که در قسمت "ب" برای پخش مناسب صوت پیشنهاد کردید.

(د) با استفاده از تابع reconst که در تمرین اول نوشتید، سیگنال اولیه را با استفاده از نمونه های اخیر بازسازی نمایید. این سیگنال جدید را پخش کنید و آن را بشنوید. آیا تغییری نسبت به سیگنال اصلی احساس می کنید؟ توضیح دهید.

همچنین با رسم سیگنال بازسازی شده زیر سیگنال اصلی مشابه قسمت "ج"، به لحاظ بصری دو نمودار را بررسی و مقایسه نمایید.

(ه) با استفاده از fft و تحلیل حوزه فرکانس، سیگنال های اصلی (اولیه) و بازسازی شده را بررسی نمایید. آیا سیگنال به طور کامل بازسازی شده است؟ (از نمودارهای رسم شده با کمک دستور Subplot برای نمایش ادعای خود استفاده کنید).

در این قسمت می توانید از تحلیل حوزه زمان نیز برای دقیقتر کردن بررسی خود استفاده نمایید.
بعنوان مثال، می توانید مقدار انرژی سیگنال حاصل از تفاضل سیگنال های بازیابی شده و اصلی را
بررسی نمایید.