

به نام خدا

دانشگاه تهران
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تمرین کامپیوتری 4

اصول سیستم های مخابراتی

دکتر صباغیان

نیمسال اول 1401-02

نکات کلی درمورد پروژه

- در صورتی که در پروژه هرگونه ابهام یا پرسشی دارید می توانید برای هر بخش با افراد زیر ارتباط باشید.
فرآیند تصادفی : حسین عطرسائی
کوانتیزاسیون : عرفان پناهی
مدولاسیون دلتا : اویس دل افروز
- گزارش کار شما مهم ترین معیار ارزیابی خواهد بود؛ در نتیجه لطفا زمان کافی را برای تکمیل آن اختصاص دهید.
- لطفا گزارش کار خود را در قالب قرار داده شده در صفحه درس بنویسید.
- قسمت اصلی کد شما باید در محیط MATLAB LIVE EDITOR نوشته شود و نمودار ها علاوه بر گزارش کار، باید در کد اصلی شما نیز قرار داشته باشند.
- پاسخ های خود را شامل کد ها و گزارش کار با فرمت نام گذاری zip.StudentID_CA2&3 در محل تعیین شده در سامانه آپلود کنید.

بخش 1: فرآیند تصادفی

دو فرآیند تصادفی زیر را در نظر بگیرید.

$$x_1(t) = \cos(2\pi t + \phi) \quad ; \quad \phi \sim U[-\pi, \pi]$$

$$x_2(t) = \cos(2\pi t + \phi) \quad ; \quad \phi \sim U\left[-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right]$$

(a) با محاسبه میانگین و تابع خود همبستگی دو فرآیند بالا، ایستادن بودن یا نبودن آن ها را مشخص کنید.

(b) از فرآیند های بالا در بازه $[-1, 1]$ با فرکانس 100 هرتز نمونه برداری کنید.

(c) برای متغیر ϕ ، به ترتیب 100، 1000 و 10000 داده تصادفی تولید کنید و سپس میانگین هر فرآیند را به ازای هر کدام از این 3 مقدار محاسبه و رسم کنید. و سپس از روی نمودار های به دست آمده ایستادن بودن و نبودن را توجیه کنید. دقت کنید نمودار ها محور عمودی نمودار ها را درست تنظیم کنید.

(d) حال نمودار های میانگین های محاسبه شده خودتان را رسم کرده و با نتایج بخش قبل مقایسه کنید.

(e) این بار برای متغیر ϕ ، به ترتیب 100 و 1000 داده تصادفی تولید کنید و سپس تابع خود همبستگی هر فرآیند را با کد محاسبه کنید. همانطور که می دانید در حالت کلی این تابع دومتغیره است (t, τ) . به همین دلیل باید صفحه تابع خود همبستگی را رسم کنید. از روی نمودار های به دست آمده ایستادن بودن و یا نبودن را توجیه کنید.

(f) حال صفحه های توابع خود همبستگی محاسبه شده ی خودتان را رسم کرده و با صفحه های بخش قبل مقایسه کنید. *درحالتی که فرآیند ایستادن است، تابع محاسبه شده ی شما تک متغیره می شود، متغیر دیگر را آزاد بگذارید تا صفحه را درست رسم کنید.

(g) برای فرآیندی که ایستادن است، منحنی تابع محاسبه شده خودتان بر حسب τ رسم کنید. سپس برای خروجی متلب، به ازای هر مقدار τ میانگین بردار دیگر را قرار دهید تا یک تابع تک متغیره حاصل شود و سپس آن را رسم کنید. حال دو منحنی را مقایسه کنید.

بخش 2: کوانتیزاسیون

در این بخش از تمرین، با تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال و ارسال و آشکارسازی سیگنال دیجیتال آشنا می‌شویم. سیگنال زیر را در نظر بگیرید.

$$(3.1) \quad g(t) = 4 + \sin(2\pi t) + \cos(\pi t) + \cos\left(\frac{\pi t}{2}\right) + \tan\left(\frac{\pi t}{6}\right) \quad 0 \leq t \leq 2$$

هدف سوال، این است که سیگنال رابطه‌ی 3.1 را از طریق کوانتیزاسیون یکنواخت¹ به سیگنالی دیجیتال تبدیل کنیم و سپس، با دریافت آن در گیرنده، بار دیگر، آن را به سیگنال آنالوگ تبدیل کنیم. به این منظور، مراحل زیر را می‌پیماییم:

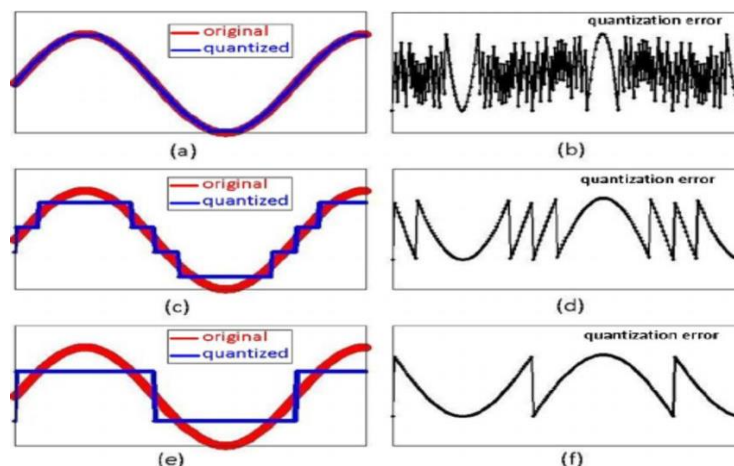
نمونه برداری:

در ابتدا، سیگنال رابطه‌ی 3.1 را در نرم‌افزار متلب رسم نمایید. تعداد نقاط در نظر گرفته شده، بین 15000 تا 20000 فرض شود. (با توجه به اینکه تعداد نقاط بسیار اند، این سیگنال را به عنوان سیگنال آنالوگ اصلی پیاده‌سازی شده در متلب، در نظر می‌گیریم).

از سیگنال آنالوگ در نظر گرفته شده، با فرکانس 300 هرتز، نمونه‌برداری کرده و سیگنال گسسته-زمان حاصل را رسم نمایید.

اعمال سطوح کوانتیزاسیون:

همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، از کوانتیزاسیون یکنواخت جهت بسته‌بندی داده‌های سیگنال استفاده می‌شود. در این مرحله، به تعداد N سطح تعریف می‌کنیم و هر نقطه‌ای را از سیگنال که بین هر دو سطح قرار گیرد، بر روی مرکز دسته آن دو سطح تصویر می‌کنیم. شکل 3.1 نمایانگر این عملکرد است.



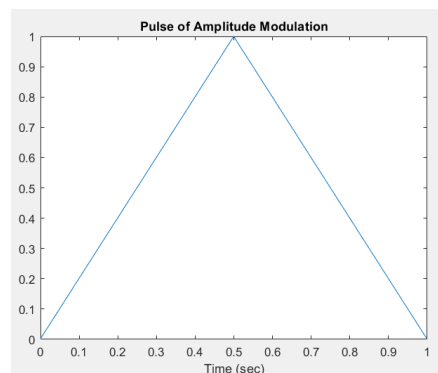
شکل 3.1: سیگنال کوانتایز شده با سطوح مختلف

¹ Uniform Quantization

➤ به این منظور، با توجه به یکنواخت بودن کوانتیزاسیون، 32 سطح با فاصله‌های یکسان از یکدیگر در بازه‌ی دامنه‌ی سیگنال تعریف می‌کنیم و هر کدام از نقاط را بر مرکز دسته دوسطح تصویر می‌کنیم. شکل سیگنال کوانتایز شده را پس از اجرای این رویکرد، در گزارشکار خود بیاورید.

دیجیتال‌سازی سیگنال کوانتایز شده

در این بخش، به ازای هر نقطه‌ی کوانتایز شده، طبق مدولاسیون‌های دیجیتال، قرار است پالسی در فرستنده ارسال شود. انتخاب پالس پایه دلخواه است و در این بخش از پالس شکل 3.2 استفاده می‌کنیم.



شکل 3.2: پالس استفاده شده جهت مدولاسیون دامنه‌ی سیگنال دیجیتال

به ازای هر نقطه (که پس از مرحله‌ی کدگذاری^۲، به عنوان دیجیت^۳ یا سمبل^۴ تعبیر می‌شوند)، پالس پایه در شکل 3.2 در دامنه‌ی مشخصی ضرب شده و از فرستنده به گیرنده ارسال می‌شود. (مدولاسیون دیجیتال استفاده شده در این تمرین، از نوع PAM^۵ می‌باشد).

➤ مطلوب است محاسبه‌ی انرژی سیگنال گسسته زمان حاصل از نمونه‌برداری سیگنال شکل 3.2 با فرکانس 1000 هرتز.

➤ به ازای هر کدام از 32 سطح کوانتیزاسیون، یک عدد از 0 تا 31 اختصاص دهید که همانطور که پیش‌تر ذکر شد، به عنوان دیجیت شناخته می‌شود و نهایتاً، مقدار سیگنال هر سطح را با دیجیت متناظر با آن در آرایه‌ای دو بعدی ذخیره نمایید (از این آرایه برای بازیابی سیگنال استفاده خواهیم کرد). از رایج‌ترین شیوه‌های کدگذاری در مخابرات دیجیتال، می‌توان به برچسب‌گذاری به شیوه‌ی گری‌کد^۶ اشاره نمود؛ هر کدام از سمبل‌ها را به این روش کدگذاری کرده و پالس متناظر با آن را از پوشه‌ی موجود دریابید. در نهایت، با قرار دادن این پالس‌ها، به ترتیب در کنار یکدیگر، شکل سیگنال دیجیتال حاصل از این مدولاسیون را در گزارشکار خود بیاورید. (هر کدام از پالس‌ها باید در مدت زمان 1 ثانیه ارسال شوند).

² Coding

³ Digit

⁴ Symbol

⁵ Pulse Amplitude Modulation: در درس مخابرات دیجیتال، بیشتر با آن آشنا خواهید شد.

⁶ Gray Code

دریافت سیگنال دیجیتال در گیرنده

در گیرنده، سیگنال دریافت شده همراه با نویز خواهد بود. نویز کانال از نوع نویز گوسی⁷ در نظر گرفته می شود و طبق تعریف، یک فرآیند تصادفی نرمال است و SNR^8 در گیرنده برابر 2 dB فرض می شود.

✚ متغیر های مربوط به مدل سازی نویز را بدست آورده و برای هر کدام از متغیر ها، توضیح مختصری بنویسید.

✚ با افزودن نویز با ویژگی های ذکر شده به سیگنال ارسال شده، سیگنال دریافتی در گیرنده را نمایش دهید.

دیکود کردن⁹ سیگنال دیجیتال

از این مرحله به بعد، فرآیند بازیابی سیگنال آنالوگ از دیجیتال را طی می کنیم. با دانش اینکه هر کدام از سمبل ها در 1 ثانیه ارسال می شود، سیاستی پیاده می کنیم تا بر اساس آن، پالس ها را به سمبل های متناظر آن تبدیل کنیم. به این منظور، باید بدانیم که هر کدام از پالس های اختصاص داده شده به هر دیجیت، مضربی از پالس پایه می باشد.

✚ پالس پایه را در رشته پالس دریافت شده در گیرنده، به ازای هر ثانیه، ضرب کرده و با محاسبه ی انرژی متقابل آنها و در نظر گرفتن انرژی پالس پایه، دامنه ی هر کدام از این پالس ها را بیابید و به این طریق، با استفاده از رشته بیت ارسال شده به ازای هر سمبل، دیجیت سطح کوانتیزاسیون را مشخص نمایید.

✚ با استفاده از آرایه ی دو بعدی بدست آمده در بخش "دیجیتال سازی سیگنال کوانتایز شده"، هر دیجیت را به مقدار واقعی سیگنال در سطح کوانتیزاسیون تبدیل نمایید و شکل سیگنال حاصل را رسم نمایید.

⁷ Gaussian⁸ Signal-Noise Ratio⁹ Decoding

بخش 3: مدولاسیون دلتا (امتیازی)

در این بخش می خواهیم با یکی از مدولاسیون های دیجیتال به نام Delta Modulation (DM) آشنا شویم.

A. ابتدا در مورد DM تحقیق کرده و مزایا و معایب آن را نسبت به PCM بیان کنید.

B. دو پارامتر در این مدولاسیون نقش اساسی دارند. فرکانس نمونه برداری و خود متغیر δ . در قطعه کد داده شده برای هر کدام از سه سیگنال x_1, x_2, x_3 مقادیر فرکانس نمونه برداری و δ را با آزمون و خطا به شکل مناسبی تعیین کنید تا کمترین خطا بین سیگنال خروجی و سیگنال ورودی وجود داشته باشد. سپس نمودار بهترین سیگنال خروجی را بر روی خود سیگنال ورودی رسم کرده و به ازای هر سه سیگنال در گزارش کار خود بیاورید. در title ای نمودار ها مقادیر δ و فرکانس نمونه برداری را بنویسید.

C. افزایش و یا کاهش هر کدام از پارامتر های δ و فرکانس نمونه برداری چه تاثیری در خروجی دارد؟ آیا با تعیین یک مقدار مناسب برای این دو پارامتر، تمامی سیگنال ها را می توان به خوبی مدوله کرد؟ حداقل نسبت این دو پارامتر چه قدر باید باشد؟

D. به ازای فرکانس نمونه برداری 10 هرتز و تنها برای سیگنال x_1 ، پارامتر δ را از 0 تا 2 با طول گام 0.01 تغییر دهید و به ازای هر کدام مجموع مربعات خطا را محاسبه کنید. به ازای کدام مقدار δ کمترین خطا را داریم؟ به ازای همان δ نمودار ورودی و خروجی را بر روی هم رسم کنید.

E. در مورد Adaptive DM تحقیق کرده و توضیح دهید چگونه مشکلات DM را برطرف می کند.