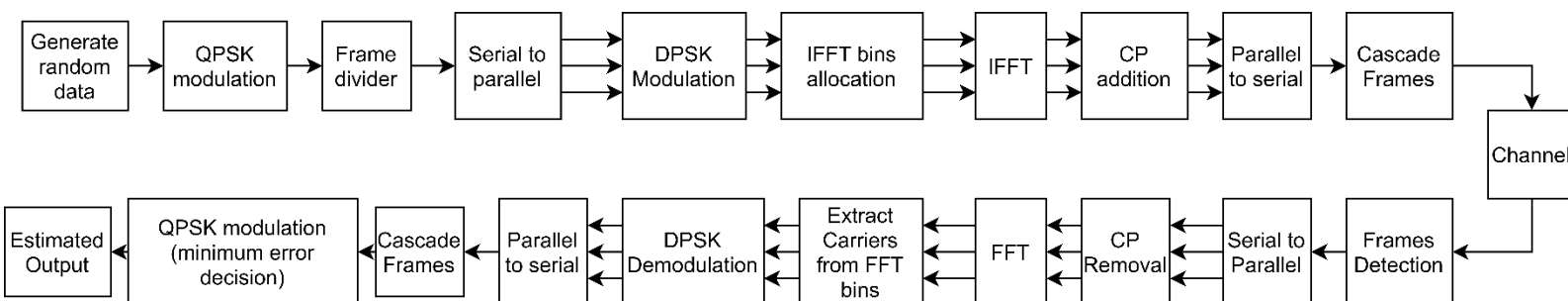




شکل ۱ بلوک دیاگرام یک سیستم OFDM رایج در عمل را نشان می‌دهد. با استفاده از این سیستم می‌خواهیم اطلاعات یک پیغام باینری که شامل 10^7 بیت می‌باشد را ارسال کنیم. در این پروژه ابتدا این پیغام به صورت رندوم تولید می‌شود. سپس توسط مدولاسیون QPSK مدوله می‌شود. در مرحله بعد سمبل‌های ایجاد شده توسط فرستنده OFDM به تعدادی فریم^۱ تقسیم‌بندی می‌شود که طول هر فریم بر اساس تعداد حامل‌ها و طول cp و طول IFFT مشخص می‌شود (در ادامه توضیحات بیشتری در این مورد داده خواهد شد). این فریم‌ها توسط فرستنده OFDM در کانال ارسال می‌شوند. مدل کانال یک کانال AWGN در نظر گرفته می‌شود که اثر clipping در آن لحاظ می‌شود. فریم‌های مدوله شده همراه با cp و header ها به گیرنده ارسال می‌شوند.



شکل ۱: دیاگرام بلوکی سیستم OFDM

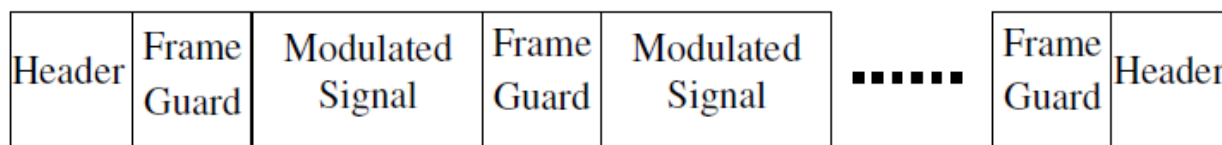
فرستنده:

فرض کنید sfc تعداد سمبل‌ها در هر فریم در هر حامل (symbol/frame/carrier) باشد. در این پروژه اگر n_c تعداد کل حامل‌ها باشد sfc را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$sfc = \left\lceil \frac{2^{13}}{n_c} \right\rceil$$

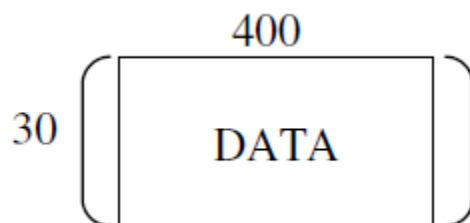
¹ Frame

مطابق شکل ۲، یک محافظ فریم^۲ بین هر دو فریم متوالی اضافه می‌شود. همچنین در ابتدای فریم اول و همچنین در انتهای فریم آخر، یک header (با طول ۸ برابر یک فریم) اضافه می‌شود. هدف از اضافه کردن این دنباله بیت‌ها، تشخیص ابتدای سیگنال اصلی در گیرنده می‌باشد (در صورتی که سیگنال دریافتی ناهمدوس^۳ باشد).



شکل ۲: فریم‌ها

اگر تعداد داده‌ها بر n_c بخش پذیر نباشد، به آخر داده‌ها تعدادی صفر اضافه می‌شود تا بر n_c بخش پذیر شود. به عنوان مثال اگر بخواهیم 11500 سمبل را با استفاده از 400 حامل که ظرفیت هر حامل 30 سمبل است را بفرستیم؛ تعداد $400 \times 30 - 11500 = 500$ صفر به انتهای داده‌ها اضافه می‌شود تا داده‌ها را بتوان به صورت شکل ۳ در یک ماتریس 30×400 قرار داد. هر ستون این ماتریس مشخص کننده یک حامل می‌باشد.

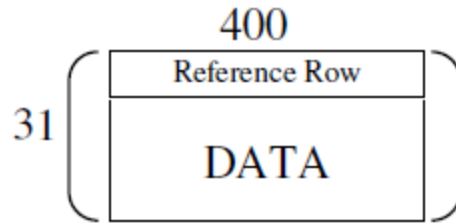


شکل ۳

در مرحله بعد قبل از اعمال مدولاسیون DPSK روی این ماتریس داده، یک سطر به ابتدای این ماتریس که درایه‌های آن سمبل‌های تصادفی (با استفاده از مدولاسیون QPSK) هستند، اضافه می‌شود تا ماتریس زیر حاصل شود:

^۲ Frame guard

^۳ Non coherent

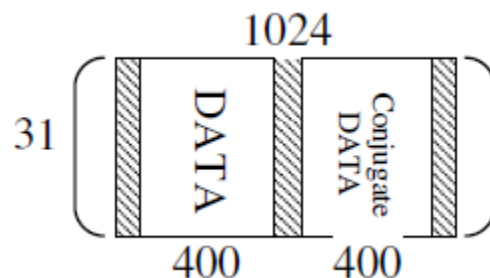


شکل ۴

سپس مدولاسیون DPSK اعمال می‌شود. به این صورت که برای هر ستون با شروع از سطر دوم، هر درایه، با باقی‌مانده تقسیم مجموع همان درایه و درایه سطر قبل خود بر سایز مدولاسیون (برای مدولاسیون QPSK برابر 4 است) جایگزین می‌شود. سپس هر کدام از درایه‌ها که عددی صحیح در مجموعه $\{0,1,2,3\}$ هستند با عدد مختلط $e^{j\phi}$ مربوطه جایگزین می‌شوند. به عنوان مثال برای بردار زیر، فاز ϕ برای درایه‌های آن به صورت سمت راست بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 180^\circ \\ 90^\circ \\ 270^\circ \\ 0^\circ \end{bmatrix}$$

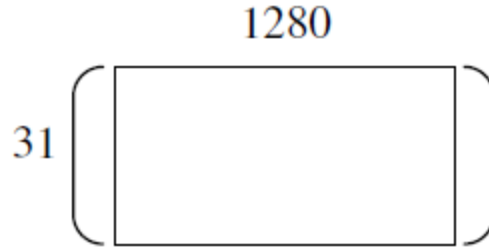
در مرحله بعد ماتریس بدست آمده با توجه به طول IFFT گسترش می‌یابد. به عنوان مثال، اگر طول IFFT برابر 1024 باشد، ماتریس شکل ۴ به ماتریس شکل ۵ تبدیل می‌شود:



شکل ۵

توجه داشته باشید در شکل ۵، ماتریس 31×400 سمت چپ، ماتریس DPSK بدست آمده در مرحله قبل و ماتریس 31×400 سمت راست، مزدوج همان ماتریس می‌باشد. بقیه ستون‌های ماتریس 31×1024 صفر قرار داده می‌شوند. سپس از این ماتریس IFFT گرفته می‌شود و فقط قسمت حقیقی خروجی ذخیره می‌شود.

در مرحله بعد، پیشوند گردشی اضافه خواهد شد. بدین منظور، 25% ستون‌های آخر ماتریس (۲۵ درصد طول IFFT) به ابتدای آن اضافه می‌شود تا ماتریس زیر حاصل شود:



شکل ۶

سپس با تبدیل این ماتریس به یک دنباله (فرم serial ماتریس)، یک فریم از داده‌ها آماده‌ی ارسال می‌شود.

گیرنده:

گیرنده‌ی سیستم، رفتاری دقیقاً معکوس فرستنده دارد. همه مراحل به صورت معکوس انجام خواهد شد.

خواسته‌های پروژه:

الف: مدل کانال را AWGN فرض کنید. میانگین نویز برابر صفر و واریانس آن به صورت زیر است:

$$\sigma = \frac{\sigma_s}{\sqrt{SNR}}$$

که در رابطه اخیر σ_s واریانس سیگنال است و SNR نسبت سیگنال به نویز است که مقدار دلخواهی می‌تواند باشد (در واقع با تغییر واریانس نویز ، مقدار SNR را تغییر می‌دهیم). اثر clipping نیز در کانال لحاظ می‌شود. برای مقادیر زیر برنامه خود را اجرا کنید:

$$\begin{cases} clipping = 3dB \\ SNR = 20dB \\ IFFT Length = 1024 \\ n_c = 400 \end{cases}$$

توجه داشته باشید منظور از $clipping = 3dB$ این است که در کانال ، قبل از اضافه شدن نویز ، بزرگترین دامنه سیگنال ارسالی از لحاظ اندازه به اندازه $3dB$ کاهش می‌یابد. اگر $peak_clipped$ مقدار دامنه جدید باشد ، آنگاه تمام دامنه‌های سیگنال ارسالی که بزرگتر از $peak_clipped$ هستند به $peak_clipped$ تغییر می‌یابد. به عنوان مثال اگر بیشینه دامنه $20dB$ باشد آنگاه $peak_clipped = 17dB$ می‌شود و سپس تمام دامنه‌هایی که بزرگتر از $17dB$ هستند به $17dB$ کاهش می‌یابد.

مقدار احتمال خطای بیت را بیابید و تعداد فریم‌ها را نیز گزارش کنید. نحوه عملکرد بلوک‌های گیرنده OFDM (شکل ۱) را نیز به طور مختصر توضیح دهید.

ب: برای مدل کانال AWGN، نمودار احتمال خطا را بر حسب SNR رسم کنید. بقیه پارامترها را همانند قسمت قبل فرض کنید.

ج: حال مقدار *clipped* را تغییر دهید و بقیه پارامترها را ثابت فرض کرده و احتمال خطا را بر حسب *clipped* رسم کنید.

د: مدل کانال را رایلی^۴ با واریانس واحد فرض کنید و با تغییر SNR نمودار احتمال خطا را رسم کنید.

ه: قسمت ج را با استفاده از همسان‌ساز MMSE در گیرنده تکرار کنید و نتیجه را با نمودار قسمت ج مقایسه کنید.

و - امتیازی: در صورتی که سیگنال دریافتی سنکرون دریافت نشود و ابتدای سیگنال را ندانیم (به عبارتی تاخیر در دریافت داشته باشیم)، در آخرین مرحله‌ی فرستنده، برای مدل‌سازی تاخیر، به صورت رندوم^۵ تعدادی داده تصادفی قبل از header اضافه کنید و سپس سیگنال را ارسال کنید. در گیرنده با فرض اینکه مقدار تاخیر را نمی‌دانید؛ ابتدا بلوکی در ابتدای گیرنده طراحی کنید که قسمت header را آشکارسازی کرده و سپس قسمت الف را تکرار کنید.

^۴ Rayleigh

^۵ Random

❖ نکات کلی درباره‌ی تمرین کامپیوتری:

۱. توجه کنید برای انجام پروژه باید از متلب استفاده کنید.
۲. حتما تمامی فایل‌های مربوط به کد متلب را آپلود کنید.
۳. گزارش پروژه بخش بزرگی از نمره‌ی شما را تشکیل خواهد داد و بدون داشتن گزارش تنها بخش کوچکی از نمره را دریافت خواهید کرد. می‌توانید برای نوشتن گزارش از هر قالبی استفاده کنید یا حتی با استفاده از Livescript متلب گزارش را بنویسید.
۴. گزارش خود را حتما در قالب یک فایل و در فرمت pdf آپلود کنید. اگر از Livescript متلب استفاده می‌کنید، می‌توانید export به فرمت pdf یا html بگیرید و آن را آپلود کنید (علاوه بر آپلود فایل mlx).
۵. در صورت وجود هرگونه سوال و ابهام، به [علیرضا فداکار](#) یا [میرحامد جعفرزاده](#) ایمیل بزنید یا در واتساپ با دستیاران ارتباط برقرار کنید. دستیاران آموزشی موظف به پاسخگویی از راه‌های ارتباطی دیگر نیستند.
۶. مشورت کردن، کمک به یکدیگر و هم‌فکری بسیار درست و سازنده است؛ به شرط آن که به یادگیری کمک کند. بنابراین مشورت در راستای فهم دقیق مسائل مانعی ندارد؛ اما با هرگونه تقلب (از فرد دیگر، محتوای موجود در اینترنت و...) برخورد خواهد شد.