

به نام خدا

گزارش کار: شبیه سازی سیستم OFDM با مدولاسیون QAM

مقدمه

در دنیای امروز، ارتباطات بی سیم به یکی از ارکان اصلی زندگی روزمره تبدیل شده است. با توجه به افزایش تقاضا برای انتقال داده های با سرعت بالا و کیفیت بالا، تکنیک های مدرن مانند OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) به عنوان یک راهکار مؤثر شناخته شده اند. OFDM به دلیل قابلیت های خود در مقابله با تداخل چندمسیره و استفاده بهینه از طیف فرکانسی، در استانداردهای ارتباطی مدرن مانند LTE و Wi-Fi به کار می رود. در این پروژه، ما به شبیه سازی یک سیستم OFDM با استفاده از مدولاسیون QAM (Quadrature Amplitude Modulation) پرداخته ایم. این گزارش به بررسی مراحل مختلف شبیه سازی، از تولید داده ها تا محاسبه نرخ خطای بیت (BER) می پردازد.

اهداف پروژه

1. شبیه سازی فرآیند انتقال داده ها با استفاده از OFDM: بررسی نحوه مدوله سازی، انتقال و دمودوله سازی داده ها.
2. تحلیل تأثیر نویز بر کیفیت سیگنال: ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط واقعی با اضافه کردن نویز گوسی.
3. محاسبه نرخ خطای بیت (BER): بررسی دقت سیستم با مقایسه داده های ارسال شده و دریافت شده.

مراحل شبیه سازی

1. تعریف پارامترها:

- تعداد زیر حامل ها (numSubcarriers): تعداد زیر حامل ها در سیستم OFDM، که در اینجا 64 انتخاب شده است. این تعداد به ما اجازه می دهد تا چندین نماد را به طور همزمان ارسال کنیم.

- تعداد نمادهای OFDM (numSymbols): تعداد نمادهایی که قرار است ارسال شوند، که در اینجا 1000 است. این تعداد به ما امکان می‌دهد تا یک حجم قابل توجهی از داده‌ها را منتقل کنیم.
 - ترتیب مدولاسیون (modOrder): در این پروژه از QPSK استفاده شده است که به ازای هر نماد 2 بیت اطلاعات منتقل می‌کند.
 - طول پیش‌لایه دوری (cpLength): طول پیش‌لایه دوری 16 نمونه است که برای کاهش تداخل بین نمادها (ISI) استفاده می‌شود.
 - نسبت سیگنال به نویز (SNR_dB): مقدار SNR برابر با 10 دسی‌بل انتخاب شده است که به ما کمک می‌کند تا تأثیر نویز بر روی کیفیت سیگنال را شبیه‌سازی کنیم.
2. تولید داده‌های تصادفی:

- با استفاده از تابع np.random.randint، یک رشته بیتی تصادفی به طول numSymbols * numSubcarriers * bitsPerSymbol تولید می‌شود. این داده‌ها نمایانگر اطلاعاتی هستند که باید منتقل شوند و به عنوان ورودی سیستم OFDM عمل می‌کنند.

3. نقشه‌برداری بیتی به نمادهای QAM:

- رشته بیتی به گروه‌های بیتی تقسیم می‌شود و هر گروه به یک عدد صحیح تبدیل می‌شود که نمایانگر نماد QAM است. برای تبدیل گروه‌های بیتی به نماد، از عملگر ضرب داخلی استفاده می‌شود. سپس، نمادها به صورت مختلط با استفاده از فرمول
$$e^{jz} \cdot (2\pi \cdot \text{symbol} / (\text{modOrder} / \text{symbol} \cdot \pi 2)) \cdot e^{jz}$$
 مدوله می‌شوند. این مرحله به ما امکان می‌دهد تا داده‌های بیتی را به سیگنال‌های قابل انتقال تبدیل کنیم.

4. ساخت OFDM Symbols:

- داده‌های مدوله‌شده به صورت یک ماتریس با numSubcarriers زیر حامل شکل می‌گیرند. هر ستون این ماتریس نمایانگر یک نماد OFDM است. سپس با استفاده از

(IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)، این داده‌ها به دامنه زمان تبدیل می‌شوند. IFFT به ما این امکان را می‌دهد که سیگنال‌های فرکانسی را به سیگنال‌های زمانی تبدیل کنیم.

5. اضافه کردن پیش‌لایه دوری:

- برای جلوگیری از تداخل بین نمادها (ISI)، پیش‌لایه دوری به داده‌های IFFT اضافه می‌شود. این مرحله شامل برداشتن آخرین `cpLength` نمونه از هر نماد OFDM و قرار دادن آن در ابتدای سیگنال است. این عمل به کاهش اثرات تداخل بین نمادها کمک می‌کند.

6. انتقال سیگنال:

- سیگنال نهایی به صورت یک آرایه یک‌بعدی برای انتقال آماده می‌شود. این سیگنال آماده است تا به عنوان سیگنال ارسالی در نظر گرفته شود و به کانال منتقل شود.

7. شبیه‌سازی نویز AWGN:

- نویز گوسی به سیگنال منتقل‌شده اضافه می‌شود تا شرایط واقعی کانال را شبیه‌سازی کند. برای این کار، ابتدا قدرت نویز بر اساس SNR و واریانس سیگنال محاسبه می‌شود. سپس، نویز گوسی پیچیده تولید شده و به سیگنال ارسالی اضافه می‌شود. این مرحله به ما امکان می‌دهد تا تأثیر نویز بر روی کیفیت سیگنال را بررسی کنیم.

8. دریافت سیگنال:

- سیگنال دریافت‌شده با حذف پیش‌لایه دوری به دامنه فرکانس تبدیل می‌شود. این کار با استفاده از FFT (Fast Fourier Transform) انجام می‌شود و نمادهای دریافت‌شده استخراج می‌شوند. FFT به ما این امکان را می‌دهد که سیگنال‌های زمانی را به سیگنال‌های فرکانسی تبدیل کنیم.

9. دمودولاسیون:

- نمادهای دریافت‌شده بر اساس فاز آنها تخمین زده می‌شوند و به بیتی تبدیل می‌شوند. این مرحله شامل محاسبه فاز هر نماد و تبدیل آن به نمایه نماد مربوطه است. برای این

کار از تابع `np.round` استفاده می‌شود تا نزدیک‌ترین نماد QAM به هر نماد دریافتی تخمین زده شود.

10. محاسبه نرخ خطای بیت (BER):

- تعداد خطاها با مقایسه رشته‌های بیتی ارسال‌شده و دریافت‌شده محاسبه می‌شود. نرخ خطای بیت به عنوان نسبت خطاها به کل بیت‌ها محاسبه می‌شود. این مرحله به ما امکان می‌دهد تا عملکرد سیستم را ارزیابی کنیم و کیفیت انتقال داده‌ها را بررسی کنیم.

نتایج

- تعداد خطاها: `numErrors`
- نرخ خطای بیت (BER): `ber`

تحلیل نتایج

نرخ خطای بیت (BER) به عنوان یکی از معیارهای کلیدی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های ارتباطی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به SNR انتخابی، نرخ خطای بیت به ما نشان می‌دهد که چقدر از داده‌ها به درستی منتقل شده‌اند. در این شبیه‌سازی، با افزایش SNR، انتظار می‌رود که BER کاهش یابد، زیرا سیگنال نسبت به نویز قوی‌تر می‌شود. این نتایج می‌توانند به عنوان مبنایی برای بهینه‌سازی سیستم‌های ارتباطی در آینده مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که چگونه یک سیستم OFDM با مدولاسیون QAM می‌تواند داده‌ها را با کارایی بالا منتقل کند و همچنین به بررسی تأثیر نویز بر کیفیت سیگنال و نرخ خطای بیت می‌پردازد. نتایج به دست آمده می‌توانند به عنوان مبنایی برای بهینه‌سازی سیستم‌های ارتباطی در آینده مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، این پروژه به ما این امکان را می‌دهد که با مفاهیم پایه‌ای در زمینه ارتباطات دیجیتال آشنا شویم و درک بهتری از چالش‌های موجود در این حوزه پیدا کنیم.