디지털통신시스템설계

Digital Communication System Capstone Design

ICE4009-001

13 주차 실습과제

정보통신공학과

12191765

박승재

Introduction

OFDM: 직교하는 부반송파(sub-carrier)를 이용하여 병렬로 정보를 전송하는 기술

장점: 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있음

변조과정: N 개의 심볼을 N 개의 subcarrier 에 해당하는 주파수에 담고 합침 (=IDFT)

복조과정: N 개의 OFDM 심볼을 N 개의 subcarrier 에 해당하는 주파수별로 쪼갬 (=DFT)

PAPR(Peak to Average Power Ratio): 파형신호에서 피크값과 평균값의 비를 말함, 즉 평균값에 비해 피크값이 얼마나 큰지를 나타냄

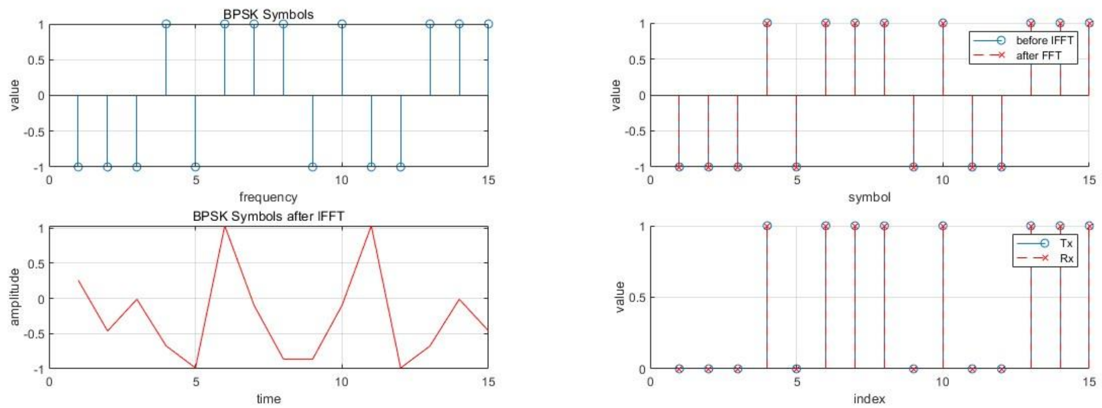
$$PAPR_{dB} = 10 * \log_{10}\left(\frac{\max(|x(t)|^2)}{E[|x(t)|^2]}\right)$$

아래는 sample 이 15 개 일 때 OFDM BPSK 를 수행하는 코드

```
sample = 15;
mod_order = 2;

tx = randi([0 (mod_order - 1)], 1, sample);
tx_mod = qammod(tx, mod_order)';
tx_ifft = ifft(tx_mod) * sqrt(sample);
tx_ofdm = tx_ifft';

figure()
subplot(2, 1, 1)
stem(1:sample, tx_mod)
grid on
title('BPSK Symbols')
xlabel('frequency')
ylabel('value')

subplot(2, 1, 2)
plot(1:sample, tx_ifft, 'r')
grid on
title('BPSK Symbols after IFFT')
xlabel('time')
ylabel('amplitude')

rx_ofdm = tx_ofdm';
rx_fft = fft(rx_ofdm) / sqrt(sample);
rx = qamdemod(rx_fft, mod_order);

figure()
subplot(2, 1, 1)
hold on
```

```
stem(1:sample, tx_mod)
stem(1:sample, rx_fft, 'rx--')
grid on
xlabel('symbol')
ylabel('value')
legend('before IFFT', 'after FFT')

subplot(2, 1, 2)
hold on
stem(1:sample, tx)
stem(1:sample, rx, 'rx--')
grid on
xlabel('index')
ylabel('value')
legend('Tx', 'Rx')

max_pow = max(abs(tx_ofdm) .^ 2);
mean_pow = mean(abs(tx_ofdm) .^ 2);
PAPR = 10 * log10(max_pow / mean_pow)
```

```
PAPR =

    3.8325
```



전송 데이터는 randi 를 이용해 만들었기 때문에 매 실행마다 결과값이 바뀐다. 실습을 통해 전송(Tx) 데이터 비트와 수신(Rx) 데이터 비트가 일치하는 것을 확인했다.

Problem

1. 심볼의 개수가 8 개일 때 PAPR 의 최댓값을 구하고 이론값과 비교하시오.

2. OFDM 신호에 AWGN 을 추가하여, Eb/N0 에 따른 BER 그래프를 그리고 이론값과 비교하시오.

   Eb/N0 = [0:1:10] dB

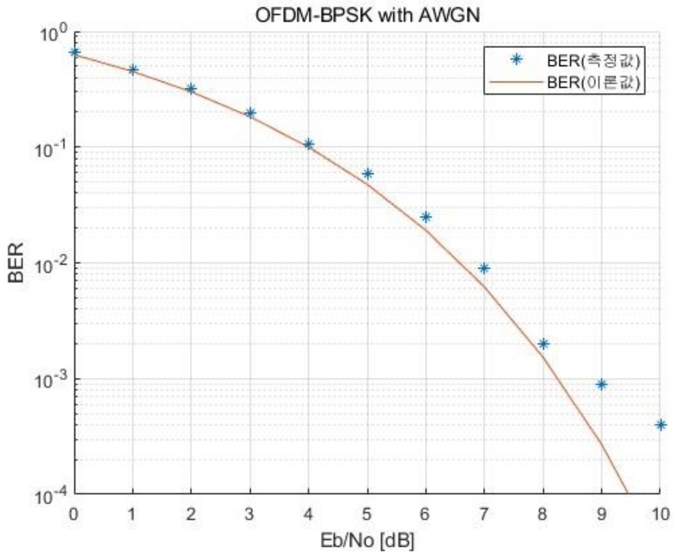
Modulation : BPSK

BER 이론치 : $\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$

Result

```
Eb_No_dBs = 0:10;
bers = zeros(1, length(Eb_No_dBs));
papr = 0;

j = 1;

for Eb_No_dB = Eb_No_dBs
    sample = 8;
    mod_order = 2;

    N = 10000;

    for i = 1:N
        tx = randi([0 (mod_order - 1)], 1, sample);
        tx_mod = qammod(tx, mod_order)';
        tx_ifft = ifft(tx_mod) * sqrt(sample);
        tx_ofdm = tx_ifft';

        tx_awgn = awgn(tx_ofdm, Eb_No_dB);

        rx_ofdm = tx_awgn';
        rx_fft = fft(rx_ofdm) / sqrt(sample);
        rx = qamdemod(rx_fft, mod_order)';

        bers(1, j) = bers(1, j) + sum(tx ~= rx);
        papr = max(papr, pow2db(max(abs(tx_ofdm) .^ 2) /
mean(abs(tx_ofdm) .^ 2)));
    end

    bers(1, j) = bers(1, j) / N;

    j = j + 1;
end

bers_ = 1/2 * erfc(sqrt(db2pow(Eb_No_dBs))) * sample;

grid on
hold on
plot(Eb_No_dBs, bers, '*')
```

```
plot(Eb_No_dBs, bers_)
set(gca, 'yscale', 'log')
axis([0 10 1e-4 1])
title('OFDM-BPSK with AWGN')
xlabel('Eb/No [dB]')
ylabel('BER')
legend('BER(측정값)', 'BER(이론값)')

papr
papr_ = pow2db(sample)
```




```
>> ofdm_awgn

papr =

    9.0309


papr_ =

    9.0309
```

BER 의 이론값과 측정값이 유사하게 나오는 것을 확인했다. 또한, 최대 PAPR 이 이론값과 동일하게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

Conclusion

AWGN 은 데이터 전송 중간에 추가되므로 tx 와 rx 사이에 들어가야 한다. awgn 함수 사용법은 아래와 같다.

`Y = awgn(X,snr)` adds white Gaussian noise to the vector signal `X`. This syntax assumes that the power of `X` is 0 dBW.

```
tx_awgn = awgn(tx_ofdm, Eb_No_dB);

rx_ofdm = tx_awgn';
```

OFDM 에서 SNR 은 Eb/No 와 동일하다.

$$\frac{S}{N}(dB) = \frac{E_s}{N_0}(dB) - 10\log_{10}\left(\frac{T_{sym}}{T_{samp}}\right)$$
$$= \frac{E_b}{N_0}(dB) + 10\log_{10}(M) - 10\log_{10}\left(\frac{T_{sym}}{T_{samp}}\right)$$

$$
\begin{aligned}
&= \frac{E_b}{N_0}(dB) + 10\log_{10}(M) - 10\log_{10}(T_{sym}) + 10\log_{10}(T_{samp}) \\
&= \frac{E_b}{N_0}(dB) + 10\log_{10}(1) - 10\log_{10}(K) + 10\log_{10}(K) \\
&= \frac{E_b}{N_0}(dB) + 0 = \frac{E_b}{N_0}(dB)
\end{aligned}
$$

OFDM 에서 BER 이론치는 $\frac{1}{2}\mathrm{erfc}(\sqrt{E_b/N_0}) \times K$ 형태로 표현된다. 샘플 수 K 를 곱하는 이유는 subcarrier 각각의 BER 을 합쳐야 하기 때문이다. 측정값 BER 그래프가 이론값 BER 그래프보다 오른쪽에 있는데, 그 이유는 잡음의 영향으로 오류가 조금 더 많이 발생하기 때문이다.

PAPR 은 파형신호에서 최댓값과 평균값의 비율을 의미한다. 따라서 PAPR 은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$papr = \frac{\max[x(t)x^*(t)]}{E[x(t)x^*(t)]}$$

여기서 x(t)는 아래와 같이 표현된다. K 는 샘플 수를 의미한다.

$$x(t) = \sum_{0}^{K-1} a_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}}$$

그렇기에 $\max[x(t)x^*(t)]$와 $\mathrm{E}[x(t)x^*(t)]$를 구할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
\max[x(t)x^*(t)] &= \max\left[\sum_{0}^{K-1} a_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} \sum_{0}^{K-1} a_k^* e^{\frac{-j2\pi kt}{T}}\right] \\
&= \max\left[a_k a_k^* \sum_{0}^{K-1}\sum_{0}^{K-1} e^{\frac{j2\pi kt}{T}} e^{\frac{-j2\pi kt}{T}}\right]. \\
&= K^2
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
E[x(t)x^*(t)] &= E\left[\sum_{0}^{K-1} a_k e^{\frac{j2\pi kt}{T}} \sum_{0}^{K-1} a_k^* e^{\frac{-j2\pi kt}{T}}\right] \\
&= E\left[a_k a_k^* \sum_{0}^{K-1}\sum_{0}^{K-1} e^{\frac{j2\pi kt}{T}} e^{\frac{-j2\pi kt}{T}}\right]. \\
&= K
\end{aligned}
$$

따라서 PAPR 의 이론값은 아래와 같이 표현된다.

$$papr = \frac{K^2}{K} = K$$

PAPR 의 단위를 dB 로 쓰기로 했으므로 최종적으로 PAPR 을 계산하는 코드는 아래와 같다.

```
papr_ = pow2db(sample)
```