

OFDM-MIMO 仿真实验

杨坤泽

2023210799

2023 年 12 月 22 日

1 参数分析与系统框图

依据 OFDM 系统仿真中计算得到的部分参数，有系统的采样率 $F_s = 15.36MHz$ ，循环前缀点数 $N_{cp} = 73$ ，子载波数量由于不插入导频子载波，均用于传输数据，故有 $N_{sc} = 896$ 。

分析系统的传输数据，有

$$R = N_{sc} \times N_{data\ stream} \times R_{symbol} \times B_{mod} \quad bits/s$$

系统采用 QPSK 调制或 16QAM 调制，则最高数据率为

$$R_{max} = 896 \times 3 \times \frac{1}{71.42 \times 10^{-6}} \times 4 = 150.5Mbps$$

利用香农公式计算理论传输速率，取 $SNR = 20dB$ 有

$$R_b = 3 \times 13.44 \times \log_2(1 + 10^{\frac{20}{10}}) = 268.5Mbps$$

即逆向计算，可以得到系统逼近 $SNR = 8.1dB$ 时的理论传输速率。

根据 MATLAB 的代码框架补全代码，绘制出 OFDM 系统的框图如下：其中通过 IFFT 实现 OFDM 符号的生成，标准的 IFFT 运算会带入

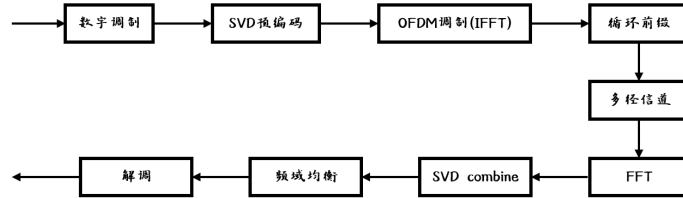
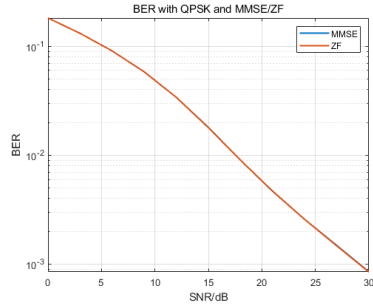


图 1: OFDM-MIMO 系统框图

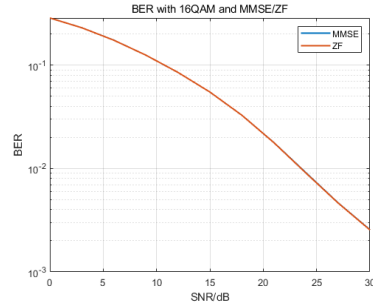
$\frac{1}{N_{FFT}}$ 的系数进而影响时域符号的功率，因此在计算噪声时需要注意频域符号到时域符号的功率变化。以及 MATLAB 的标准 SVD 函数分解形式为 $H = USV'$ ，得到的预编码矩阵已经是共轭转置后的结果，不需要进行额外的操作。

2 仿真结果

利用 MATLAB 仿真不同调制方式的结果，得到 QPSK 调制在 ZF 与 MMSE 均衡下、16QAM 调制在 ZF 与 MMSE 均衡下的误码率曲线分别为：

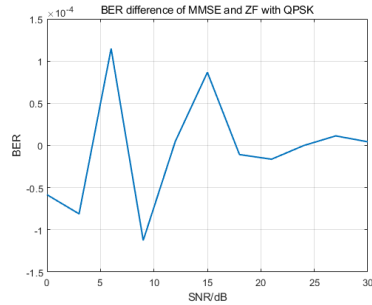


(a) QPSK 调制的 ZF/MMSE 均衡误码率曲线

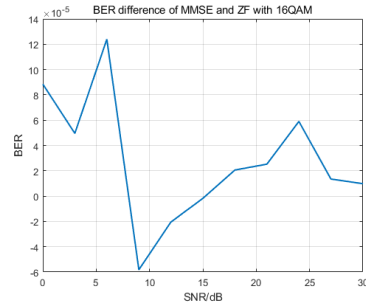


(b) 16QAM 调制的 ZF/MMSE 均衡误码率曲线

注意到对于不同调制结果的 ZF 均衡与 MMSE 均衡不存在显著的性能差别。绘制误码率结果的差值曲线有：



(a) QPSK 调制的 MMSE/ZF 均衡误码率差值曲线

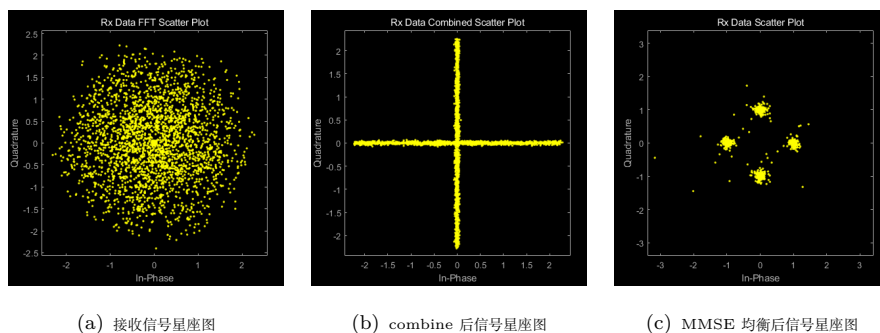


(b) 16QAM 调制的 MMSE/ZF 均衡误码率差值曲线

发现相较于 OFDM 系统的仿真结果，加入 MIMO 后的系统误码率性能有所下降；原因在于引入多天线提高数据率的同时不同数据流之间也会存在干扰，导致误码率性能变差。同时对于 ZF 均衡和 MMSE 均衡的性能相差不大，仿真过程偏理想，与实际系统差距较大，后续待进一步完善。

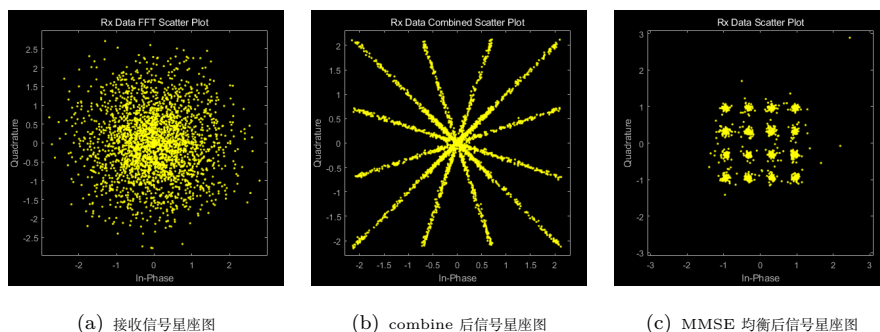
为了更好地观察信号在接收端的变化，更形象地理解 MIMO 的原理，绘制出 QPSK 调制方式下的 MMSE 均衡步骤的接收信号星座图如下：

发现在经过 combine 后信号的分布更加规律，由于信道矩阵经过 SVD 预编码处理以及 combine 后变为对角阵，且不同时刻的信道矩阵不同，得到



的奇异值也不同；因此呈现的符号分布为原调制后的符号至原点的“连线”状分布。这是从星座图出发对预编码的形象化理解。预编码的主要目标是在提高系统的数据率的同时尽量减少数据流间的干扰，从而能够在提高频谱效率和容量的同时尽可能保证通信的质量。

类似的，绘制出 16QAM 调制方式下的 MMSE 均衡步骤的接收信号星座图如下：



其中均衡后信号的幅度由于频域符号归一化的要求并没有完全恢复，在解调的时候需要考虑 $\sqrt{10}$ 系数的影响。