OFDM-MIMO-LDPC 仿真实验

杨坤泽
2023210799

2024 年 1 月 5 日

1 参数分析与系统框图

首先计算 0.88 和 0.73 码率下校验矩阵的大小。由于基矩阵的大小为 $(n, n+22)$，且基矩阵前两列打孔，因此分别有

$$\frac{n_1}{n_1+22-2} = 0.88$$
$$\frac{n_2}{n_2+22-2} = 0.73$$

解得 $n_1 = 5$, $n_2 = 10$。则 0.88 和 0.73 码率的基矩阵大小分别为 $(5, 27)$ 和 $(10, 32)$，完整校验矩阵的大小分别为 $(1280, 6912)$ 和 $(2560, 8192)$。

由于一个 OFDM 块传输的比特数为

$$N_{bit} = N_{sc} \times N_t \times B = 896 \times 3 \times 1 = 2688\, bits$$

则有对应 0.88，0.73，0.67 三种码率的 LDPC 码字，其传输分别需要的 OFDM 块数量为

$$N_{0.88} = ceil(6912/2688) = 3$$
$$N_{0.73} = ceil(8192/2688) = 4$$
$$N_{0.67} = ceil(8960/2688) = 4$$

根据 MATLAB 的代码框架补全代码, 绘制出 ODFM-MIMO-LDPC 系统的框图如下:

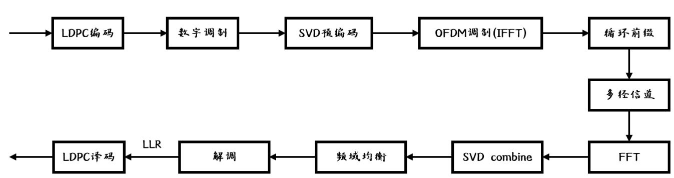

图 1: ODFM-MIMO-LDPC 系统框图

对于 LDPC 编码的代码实现，采用 MATLAB 2023a 版本的 ldpcEncoderConfig，输入稀疏布尔变量矩阵 (sparse logical) 参数配置 LDPC 编码对象，之后通过 ldpcEncode 函数实现对信息序列的编码。

对于 LDPC 译码的代码实现，首先考虑利用校验矩阵的稀疏性，利用 find 找到所有非零元素的位置；之后可以通过 for 循环计算变量节点的对数似然比更新值以及校验节点的对数似然比更新值，最后对译码后的序列进行校验。但对于 MATLAB 而言循环相较于矩阵运算的速度要慢得多，因此考虑将变量节点的循环运算改为矩阵运算，通过将对数似然比向量转化为对角矩阵之后与校验矩阵相乘后相减得到结果。这样能够优化变量节点的运算速度，但校验节点需要寻找每行的最小值与次小值以及最小值对应的下标，采用最小和算法无法优化算法速度。若采用 BP 算法可以根据 MacKay 在 1996 年给出的算法实现快速译码，但译码效果相对较差 [1]。

最终算法实现的复杂度依然较高，在译码过程的每次迭代时需要复杂度约为 O(n)(若不能成功译码)，n 为校验矩阵中 1 的数量。在仿真时受到译码复杂度的影响，对于 5 条要求的误码率曲线，每个信噪点仿真 500 轮 (此前的仿真轮数为 10000/3000) 就需要约 36 小时；由于高轮数仿真所需时间过长，因此最终得到的误码率曲线并不平滑。

2 仿真结果

利用 MATLAB 仿真不同最大迭代次数时 0.67 码率的 LDPC 码的误码率曲线如下：

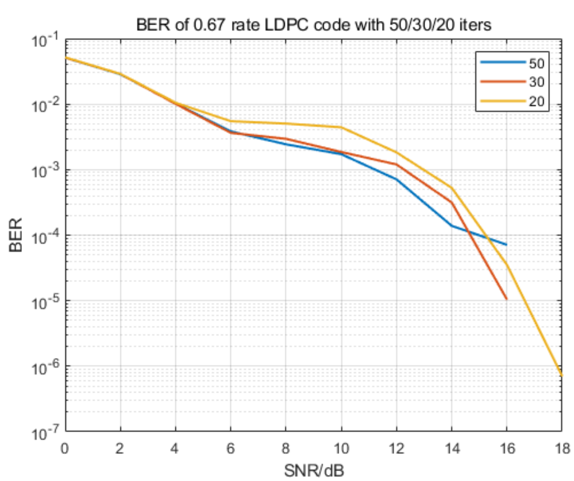

图 2: 0.67 码率在最大迭代次数为 50/30/20 时的误码率曲线

注意到随着轮数的增加误码率曲线性能会更优，最大迭代轮数为 50 轮

时在 SNR = 18 的信噪点 500 轮内没有仿真得到误码，否则误码率曲线会低于 20/30 轮，符合理论分析结果。

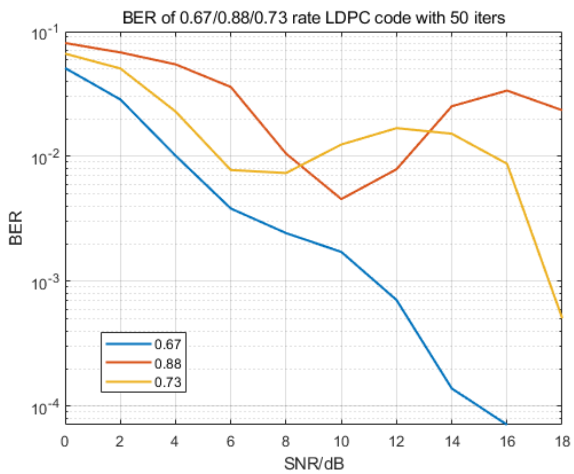

图 3: 0.67/0.88/0.73 码率在最大迭代次数为 50 时的误码率曲线

由于仿真时间长，轮数较少，曲线不平滑。在低信噪比部分，由于误码较多，符合统计规律与 LDPC 码性能曲线结果。注意到随着码率的提高，由于校验位的减少，误码率曲线性能变差，符合理论分析结果。但在高信噪比部分由于误码很少，在少轮数的情况下统计规律不明显，会出现与实际性能相悖的结论，因此误码率曲线出现波动。在高轮数情况下高信噪比曲线的趋势会与低信噪比情况下保持一致。

参考文献

[1] David JC MacKay and Radford M Neal. Near shannon limit performance of low density parity check codes. *Electronics letters*, 33(6):457–458, 1997.