

课题设计 基于 MATLAB 的 MIMO 传输仿真

一、课题设计目的

本课程设计的目的是了解移动通信关键技术、了解数字通信系统仿真流程，学会用 Matlab 实现基本的调制解调、无线信道等通信模块。学习并实现 MIMO 空时处理技术，通过本次实践学习和掌握性能分析的思路和方法。

二、课题设计原理

● MIMO 系统理论：

MIMO (Multiple-Input Multiple-Out-put) 表示多输入多输出。MIMO 允许多个天线同时发送和接收多个空间流。它允许天线同时传送和接收。利用 MIMO 技术可以提高信道的容量，同时也可以提高信道的可靠性，降低误码率。前者是利用 MIMO 信道提供的空间复用增益，后者是利用 MIMO 信道提供的空间分集增益。

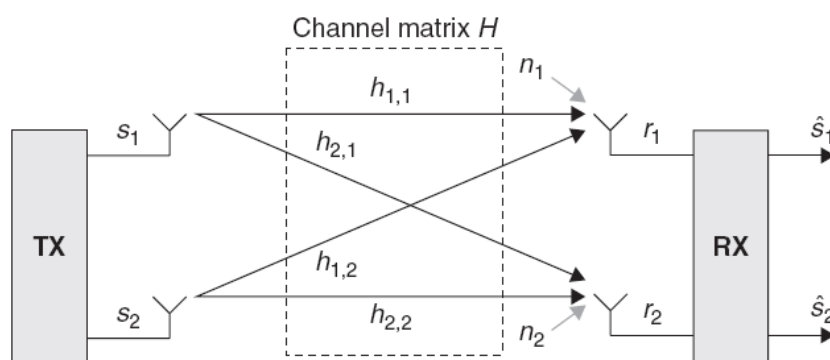


图 1 MIMO 复用传输示意图

● 分集与复用：

根据各根天线上发送信息的差别，MIMO 可以分为发射分集技术和空间复用技术。在不同的天线上发射包含同样信息的信号(信号的具体形式不一定完全相同)，达到**空间分集**的效果，起到**抗衰落**的作用，提升传输可靠性；在不同的天线上发射不同的信息，获得**空间复用增益**，从而大大提高系统的容量和频谱利用率。

● 空间复用基本原理：

考虑一个 $N \times N$ 的 MIMO 系统，采用空间复用的方式工作，即发送端同时发送 N 个调制后的数据符号，假设第 i 根发送天线发送的调制数据符号为 s_i ，第 i 根发送天线到第 j 根接收天线之间的平坦衰落信道可用 h_{ji} , $0 \leq i \leq N - 1, 0 \leq j \leq N - 1$ 来表示。第 j 根接收天线的接收信号为：

$$y_j = \sum_{i=0}^{N-1} h_{ji} s_i + n_i$$

把 N 根发送天线的数据写成列向量形式，即 $\mathbf{s} = (s_0, s_1, \dots, s_{N-1})^T$ ，把 N 根接收天线

接收到的数据也写成列向量的形式，即 $\mathbf{y} = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})^T$ 。则接收数据与发送数据之间的关系为：

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \dots \\ y_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{00} & h_{01} & \dots & h_{0(N-1)} \\ h_{10} & h_{11} & \dots & h_{1(N-1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{(N-1)0} & h_{(N-1)1} & \dots & h_{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ \dots \\ s_{N-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \dots \\ n_{N-1} \end{bmatrix} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n}$$

其中 $\mathbf{n} = (n_0, n_1, \dots, n_{N-1})^T$ 为每根接收天线上的高斯噪声。

接收端为了恢复出所有的发送信号 $\mathbf{s} = (s_0, s_1, \dots, s_{N-1})^T$ ，需要对接收到的数据进行均衡处理，最简单的一种均衡方式为迫零均衡（Zero-forcing）。假设接收端已知信道矩阵 \mathbf{H} ，迫零均衡需要在接收数据前乘以信道矩阵的逆，即：

$$\mathbf{u} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{H}^{-1}\mathbf{n} = \mathbf{s} + \mathbf{H}^{-1}\mathbf{n}$$

均衡后的数据即可进行判决与解调。

● 空间分集基本原理：

在无线通信的信道传输过程中，由于大气及地面的影响而发生传播损耗及信号强度随时间变化的现象叫做衰落。分集就是在独立的衰落路径上发送相同的数据，由于独立路径在同一时刻经历深衰落的概率很小，因此经过适当的合并后，接收信号的衰落程度就会被减小，提高了接收信号的可靠性。

要实现分集，首先要找出来自不同途径的多径信号，其次要以某种方法进行合并。对于 MIMO 系统而言，其使用多个发送天线或接收天线，即天线阵列，其阵元之间有一定的距离，在这种方式下实现的分集叫做空间分集。

如果天线安装的间隔足够大（对于均匀散射环境及全向的发送和接收天线，达到衰落独立需要的最小间距近似为波长的一半），那么不同天线接收到的信号幅度和相位的衰减是不相关的，即不同天线对之间的衰落路径是独立的，此时便可以实现空间分集。

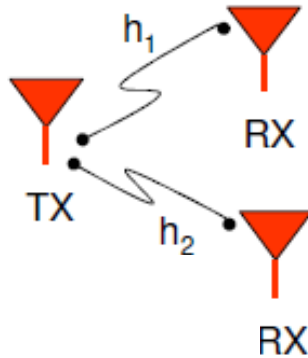


图 2 空间分集

考虑 1 发 2 收的多天线系统，如图 2 所示。天线发送调制后的信号 s ，该信号会同时被两根接收天线收到。

接收天线 0 收到的信号为： $y_0 = h_0 s + n_0$

接收天线 1 收到的信号为： $y_1 = h_1 s + n_1$

为了获得分集增益，需要对两根接收天线的数据进行合并，合并的方式有多种，性能较好为最大比合并，其基本原理为合并的过程为传输质量更好的链路赋予更高的权重，对于上述两根天线的接收信号而言，经过最大比合并后的信号为：

$$y = h_0^* y_0 + h_1^* y_1 = (|h_0|^2 + |h_1|^2)s + h_0^* n_0 + h_1^* n_1$$

合并后的数据即可进行判决与解调，恢复出二进制比特。

三、课题设计内容

在 matlab 下用.m 文件实现以下内容：

1. 产生瑞利衰落信道，画出其 pdf 曲线，并与标准瑞利分布 pdf 曲线进行对比；
2. 产生均匀分布的二进制信源，对其进行 QPSK 调制，在单发单收场景下，仿真瑞利信道下 QPSK 调制的误码率性能；
3. 产生两路独立等概均匀分布的二进制信源，分别对其进行 QPSK 调制，在 2×2 场景下，假设信道为独立同分布的瑞利信道，仿真采用迫零均衡时 MIMO 传输的误码率性能；
4. 产生独立等概均匀分布的二进制信源，对其进行 QPSK 调制，在 1×2 场景下，假设信道为独立同分布的瑞利信道，仿真采用最大比合并时空间分集的误码率性能；
5. 产生独立等概均匀分布的二进制信源，对其进行 QPSK 调制，在 1×3 场景下，假设信道为独立同分布的瑞利信道，仿真采用最大比合并时空间分集的误码率性能。

注：误码率仿真需要给出误码率随信噪比变化的曲线，信噪比考虑 0dB~20dB 的区间范围。

四、课题设计报告要求

课题设计报告应包括以下内容：

1. 画出每一个仿真的原理框图；
2. 给出仿真结果。对于所有的图形结果(包括波形与仿真曲线等)，将图形保存成.tif 或者.emf 的格式并插入 word 文档；
3. 对仿真结果进行分析。查阅相关资料，回答以下问题：
 - 比较仿真 2 与仿真 3 的误码率仿真结果，并分析原因；

- 比较仿真 2 与仿真 4 的误码率仿真结果，并分析原因；
- 比较仿真 4 与仿真 5 的误码率仿真结果，并分析原因。