

移动通信课程实验指导书

哈尔滨工业大学（深圳）

电子与信息工程学院

实验 2 多输入多输出

实验背景

多输入多输出(MIMO)技术利用空间中增加的无线传输信道，在发送端和接收端采用多天线同时收发信号。由于各发射天线发送的信号占用同一个频带，并未增加带宽，因而它能够成倍的提高系统的容量和频谱利用率。多输入和多输出既可以来自于多个数据流，也可以来自于一个数据流的多个版本，因此各种多天线技术都可以算作 MIMO 技术，如图 1 所示。

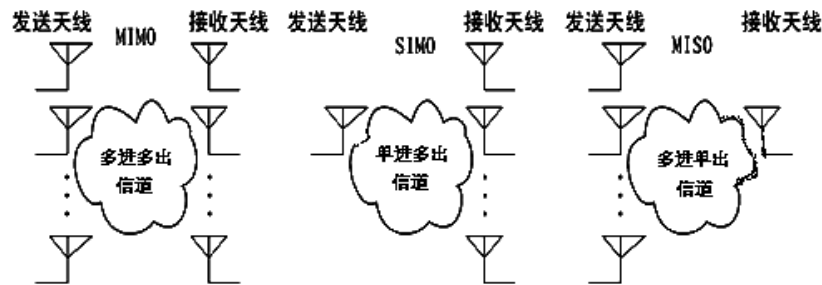


图 1 MIMO 技术分类

实验目标

本实验需要使用 Matlab 软件来搭建多输入多输出(MIMO)系统，掌握 MIMO 系统信道模型，接收端检测的算法原理以及 MIMO 系统误码率仿真的过程与分析方法。

实验环境与准备

软件环境：Matlab 2018 或以上版本

硬件环境：一台计算机（可为大家提供云平台）

实验基础：了解 Matlab 编程环境

知识基础：了解 MIMO 的基本原理

实验原理及介绍

• MIMO 信道模型

MIMO 指多输入多输出系统，当发送信号所占用的带宽足够小的

时候，信道可以被认为平坦的，即不考虑频率选择性衰落。平坦衰弱的 MIMO 信道可以用一个 $n_R \times n_T$ 的复数矩阵 \mathbf{H} 描述：

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1n_T} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2n_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_R 1} & h_{n_R 2} & \cdots & h_{n_R n_T} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 n_T 为发送端天线数， n_R 为接收端天线数， \mathbf{H} 的元素 $h_{j,i}$ 表示从第 i 根发射天线到第 j 根接收天线之间的空间信道衰落系数。

窄带 MIMO 信道模型可以描述为：

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (2)$$

其中， \mathbf{x} 为发送信号； \mathbf{y} 为接收信号； \mathbf{n} 为加性高斯白噪声。

• 线性迫零 (ZF)均衡检测算法

线性迫零 (Zero Forcing, ZF) 算法是一种简单有效地检测方法，其基本思想就是使用迫零矩阵对接收信号向量进行线性加权，最后对该接收信号向量进行检测得到发送信号向量。有前面对 MIMO 系统对模型介绍可知，接收信号向量为：

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$$

如果信道矩阵 \mathbf{H} 可逆，则接收机输出为：

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{H}^{-1}\mathbf{y} - \mathbf{H}^{-1}\mathbf{n} \quad (3)$$

对向量 \mathbf{y} 进行判决即可得到对发射信号 \mathbf{x} 的线性迫零估计。线性迫零检测算法实现简单，计算复杂度低，但其缺点是存在噪声增强现象，因此在低信噪比时性能较差。

• 线性最小均方误差 (MMSE)均衡检测算法

在线性迫零均衡检测算法中，如果信道矩阵 \mathbf{H} 的列向量线性相关性很强，那么 \mathbf{H}^{-1} 乘以 \mathbf{n} 后， \mathbf{n} 的分量将会被放大，对某个矩阵来说噪声增强可以变为无限大。为了避免这种情况，可以采用最小均方误差 (MMSE) 均衡，使接收端得到的检测结果和发射信号之间的误差在统计意义上最小。

线性最小均方误差均衡检测算法根据

$$\tilde{F} = \arg \min_F \left\{ \|Fy - x\|^2 \right\} \quad (4)$$

找到矩阵 \tilde{F} 以降低残余干扰，减少噪声增强。令误差和接收信号正交经推导可以得到：

$$\tilde{F} = \left(H^T H + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2} I \right)^{-1} H^T \quad (5)$$

则判决向量为：

$$y' = \tilde{F}y \quad (6)$$

根据公式（6）利用和线性迫零均衡检测同样的方法就可以得到对发射信号 x 的估计。

实验任务

- 1、产生等概率的二进制信源，完成 BPSK 调制。
 - 2、产生瑞利信道与(0,1)分布的高斯白噪声相加，得到传输信道。
 - 3、在接收端分别采用迫零(ZF)均衡检测的方法和最小均方误差(MMSE)对信号进行接收和判决，画出误码率随信噪比变化关系曲线。
- 以上均在 2×2 MIMO 系统下完成

实验扩展

- 1、发送端已知信道状态信息(CSI)时，使用注水算法计算信道容量随接收端天线数的变化。
- 2、发送端未知信道状态信息(CSI)，发射功率等功率分配时，信道容量随发送端天线数的变化。