ZF

对于MIMO系统的接收信号来讲，不同发射天线上的发射信号之间存在着相互的干扰。相对于某一根发射天线上面的信号子流来说，其他发射天线上的信号则被看作干扰，把接收信号乘以一个线性的滤波矩阵，从而使得干扰信号从被检测的信号中给消除掉，这就是“干扰置零”的主要思想。

线性的MIMO检测就是利用“干扰置零”的思想，通过对接收端的信号向量进行线性加权，以满足一定准则的检测方法，把不同发射天线上面发送的信号给分离出来，然后对分离出来的每一路符号进行独立的检测。

迫零检测算法（ZF，Zero Forcing）检测算法是一种线性检测算法，也是最简单的检测算法。其基本思想概括为：用信道矩阵的伪逆诚意接收端收到的信号，所得等结果经判决后作为检测结果。

由最小二乘准则[1]，可将噪声表示为

（1）

若想求解出的极小值解，需使的一阶导数为0、二阶导数大于0，由此就可以计算出ZF算法的加权矩阵，即：

 （2）

式中表示的广义逆矩阵，为单位矩阵。[2]

将左乘式，有

 （3）

由此可得，

 （4）

 （5）

其中，为量化函数。可见ZF检测器将抛弃掉，然后直接对剩余的部分进行量化，

即，将信道矩阵非对角线上的元素迫零，消除了信道间干扰。由于噪音向量中各元素间不相关，当与一个正交矩阵相乘时，这种相关性不会被破坏。而在该算法中，由于与相乘，当不为正交矩阵时，将在噪音向量中引入相关性，这使得噪音在某些位置得到放大。因此，在SNR很低的时候，ZF算法的误差较大。[3]

从式（5）中可以看出，ZF检测算法的复杂度相对ML是很低的，只需要简单的矩阵求逆和相乘即可，但是其代价是性能的剧烈下降，尤其是在低信噪比或者信道矩阵病态的情况下。这是因为如上面所述ZF检测算法抛弃了噪声部分，如果不是正交矩阵，那么与相乘会在噪声之间引入相关性，这导致噪声在某些方向上被放大了。抛弃一个比较大的值会引起星座图映射时的误判，从而导致了误符号率(Symbol Error Rate, SER)的上升。另外，即使是正交矩阵，在信噪比很低，即很大时，抛弃仍是很危险的。

下面是ZF检测算法的一个简单的例子：[4]

假如一个MIMO系统参数如下：

信道矩阵经信道估计后得到的矩阵为：

；

发射信号向量为:

 ；

满足正态分布为高斯噪声为:

 ；

根据MIMO系统数学模型得到接收向量:

；

由(2)式得线性估计矩阵为:

；

由(5)式得信号估计值为:

；

经过判决得:。

在实际系统中，信道矩阵都不会是正交的，而是病态的，通信系统也不能总是在高信噪比下工作，例如在移动通信系统中，终端出现在小区边缘时，信噪比就会比较低。由于ZF检测性能太差，难以满足实际系统对错误性能的要求，因此仍不适合在实际系统中应用。

[1]Goliub G H, Van Loan C F. Matrix Computations [M]. The John Hopkins University Press, 1996

[2] 商金花，无线MIMO系统球检测算法的研究[D]，南京邮电大学，2013.2

[3]郭晓龙，多天线系统中检测技术的研究[D]，北京邮电大学，2013.1

[4]王申，MIMO系统的研究[D]，天津大学，2006.1