# 大规模MIMO系统检测与预编码

陈翔 2015年5月26日

为了解决大规模Massive MIMO系统中随着基站天线数N和同时服务用户数K的不断增长导致的检测和预编码矩阵求逆复杂度的增长，专门作了本子文献调研。

主要阅读的文献如下：

[1]Wu,Michael,etal."Approximate matrix inversion for high-throughput data detection in the large-scale MIMO uplink."Circuits and Systems (ISCAS),2013 IEEE International Symposiumon.IEEE,2013.

[2]Yin,Bei,etal."Implementation trade-offs for linear detection in large-scale MIMO systems." Acoustics,Speech and Signal Processing (ICASSP),2013 IEEE International Conferenceon.IEEE,2013.

[3]Yin,Bei,etal."Conjugate Gradient-based Soft-Output Detection and Precoding in Massive MIMO Systems."arXiv preprint arXiv:1404.0424(2014).

[4]Gao,Xinyu,etal."Low-complexity near-optimal signal detection for uplink large-scale MIMO systems."Electronics Letters 50.18(2014):1326-1328.

[5]Dai,Linglong,etal."Low-Complexity Soft-Output Signal Detection Based on Gauss-Seidel Method for Uplink Multi-User Large-Scale MIMO Systems."(2014).

主要记录如下：

[1] Approximate matrix inversion for high-throughput data detection in the large-scale MIMO uplink

文中声称提出了第一个面向上百根基站天线的矩阵求逆数据检测实现方案，主要思想是采用较少的Neumann级数项来近似矩阵求逆过程，从而以较低的复杂度获得接近最优的性能。同时提出了一种VLSI的实现结构，专门针对systolic矩阵近似求逆，并在V7的FPGA上实现了8用户、128天线的例子，处理速度达到1.9M matrices/s，仅占用3.9%的slices和3.6%的DSP48资源。

核心思想：利用待求逆的矩阵A=GE0+N0IM(G=H*H*H)的对角D占优特性（当H元素是高斯独立同分布、天线数趋于无穷时），利用纽曼级数展开近似求逆：



当k=1的时候，就等价于匹配滤波检测器MF。k=2的时候，，就仅仅需要用户数K的平方复杂度。但是，当展开级数的阶数再继续增长，这种复杂度的优势就不那么明显了，而且性能损失会更加突出。

文中的VLSI实现结构值得参考，如果我们采用这个方案，则需要考虑展开级数在3~5的实现规模。



[2] Implementation trade-offs for linear detection in large-scale MIMO systems

与文献[1]的核心思想一致，采用纽曼级数展开近似方法，只是在实现结构上，经过误差分析采用了基于Cholesky分解的参考结构。

与[1]的实现结果对笔迹较充分，主要在误差和误码率性能上改善明显。



从上面这个表格看，这个实现算法时钟和延时都没有优势，不推荐按照这个思路作实现方案。

[3] Conjugate Gradient-based Soft-Output Detection and Precoding in Massive MIMO Systems

文中提出了一种基于共轭梯度的软输出检测与预编码实现方案，来降低复杂度。在预编码中，直接用共轭梯度来近似求你就好了，在数据检测中，由于需要与译码器软输如配合，所以需要计算相应的软信息输出。

文中号称这种近似比较适合基站天线和用户数比较接近的场景，对错误性能有一定鲁棒性。对比对象包括了纽曼级数展开方法（[1][2]）。

预编码的计算目标：



共轭梯度迭代算法如下：



缺点：



[4] Low-complexity near-optimal signal detection for uplink large-scale MIMO systems

[5] Low-Complexity Soft-Output Signal Detection Based on Gauss-Seidel Method for Uplink Multi-User Large-Scale MIMO Systems

上述两篇文献的核心思想是类似的，都是基于一些矩阵数值计算求逆的一些近似算法来的，其中[4]用了Richardson方法，并且证明了大规模MIMO检测中的MMSE滤波器的对称正定性，然后Richardson方法（优化了一个放松参数），在复杂度上有优势：





[5]则用了高斯-赛德尔迭代方法，复杂度也是降低到了2阶用户数，比纽曼技术展开有优势，尤其是用户数多的时候；但由于采用迭代结构，还是不利于硬件实现。