改进的OSIC

在串行干扰消除算法中，影响性能最严重的是信噪比（SNR，Signal Noise Ratio）低的信号层[1][2]，如果SNR低的信号出现误码检测，那么将会严重影响其后面信号的检测。为了保证OSIC算法整体性能，很有必要提出一种改进的算法，使其能保证在最大化高SNR层信号检测正确率的同时，最小化低SNR层信号误码传播的概率。

基于上面的考虑，我们很自然地会想到将OSIC与ML结合，力求在性能与复杂度之间取得平衡，但问题是应该以怎样的方式结合这两种算法。

根据上面的叙述，可以将ML与OSIC两种算法的特点总结如下：

1. OSIC算法较ML性能相对较差，复杂度相对ML降低，但由于其运算过程中伪逆操作的存在，复杂度还是相对较高的；
2. ML算法能保证性能最优，但是当天线个数增加，即信号层数增加时，该算法的复杂度是指数增加的；
3. ML算法不存在伪逆，且在信号层数相对少的时候，ML的复杂度还是比较低的。

在目前已有的研究中，人们试图将OSIC与ML两种算法结合，其中一些算法是这样的：将信号层排序后，前面的层使用传统的OSIC算法检测，最后层使用ML算法检测，这样便保证质量低SNR层能正确的检测。如文献[3]中，令，即前面的层使用传统的OSIC算法检测，最后1层使用ML算法检测；文献[4]则令，即前面的层使用传统的OSIC算法检测，最后2层使用ML算法检测。这样的算法不能广泛适用，没有灵活性，当天线个数增加或信道质量不好时，检测性能与计算复杂度都不能得到很好地保障。

其他的一些算法的结合方式也无非是在OSIC阶段将迫零算法换成MMSE算法以进一步提高检测性能，实际上都是大同小异的。

以上这些算法，都是在OSIC的基础上将少量信号层运用ML进行优化，力求在复杂度不至于过高的同时保证性能较OSIC得以改善，也就是说，这些算法的性能与复杂度是在OSIC与ML之间取得权衡，其性能曲线与计算复杂度曲线都位于OSIC和ML之间，不可能达到在保证性能改善的同时，复杂度也降低的程度。

出于上述的考虑，我们需要做的是在减少OSIC算法中的伪逆操作的同时避免ML算法复杂度的指数增长，且能尽量适用于各种通信条件。

本节提出一种基于ML的改进的ZF-OSIC算法，该算法更具有灵活性，适用于各种调制方式及信道质量的通信条件。该算法能有效地达到以上两点指标，保证在性能改善的同时，得到更低的复杂度。算法思路很简单：我们知道，MIMO系统中的天线个数、信号调制方式、信道质量、每种检测算法应用的层数等因素都直接影响着信号检测的误码性能和计算复杂度，因此我们将应用到ML算法的层数设置为变量，通过调整其计算复杂度公式中的参数力求找到最适合的参数。在性能被接受的范围内，很容易找到使复杂度最优的参数。

算法首先对前面的层信号运用OSIC进行检测，由前面的叙述知道，OSIC按照信号SNR从大到小检测，前面的层SNR大，信号质量好，误码检测的概率很小，运用OSIC检测能最大限度地减小无码传播，保证信号正确地检测。后面的层运用ML进行检测，保证质量最差的信号能尽量正确地检测，保障了整体的检测性能。下面的叙述中我们将该改进算法称为OSIC-ML算法。

算法的整体步骤可以表示如下：

|  |
| --- |
| **OSIC-ML** |
| 10. ,, |

由ML算法复杂度的指数特性可知，不能将过多的层数运用ML检测，但是如果运用ML的层数太少，OSIC运用的多，整体的性能又会由于运用OSIC的层数过多而受低SNR层的影响，且由于OSIC中伪逆操作的存在，复杂度也会受到影响。因此，如何设置ML算法的层数是很重要的。下一节，我们会进一步分析该算法的复杂度问题。

**仿真**

**复杂度分析**

下面对该改进算法的复杂度进行分析[4]。

对于ML，其整体的复杂度可以表示如下：

（1）

其中，表示调制星座图的大小，表示天线的个数。公式的前半部分是乘法操作的个数，后半部分是平方操作的个数。从这个公式可以看出，ML的复杂度的确是随着天线个数的增加而指数增加的。

对于OSIC，我们采用ZF中的转换矩阵，即，矩阵的该操作，即求伪逆的过程的复杂度是。而排序和干扰消除的复杂度可以表示为。因此ZF-OSIC整体的复杂度表示如下：

（2）

从上述公式可以看出，OSIC算法复杂度只与发送天线和接收天线的个数有关，而与调制阶数无关。

这样，便很容易得出本节提出的改进算法的复杂度：

（3）

从公式可以看出，OSIC-ML算法复杂度与调制阶数、发送天线和接收天线个数及都有关。

表Ⅰ和表Ⅱ中列出了对于不同的，三种法算法：ZF-OSIC、ML和本节提出的算法OSIC-ML相应的复杂度。我们选择（）和（）的MIMO系统，以及三种不同的调制方式：BPSK、QPSK和16QAM。

表Ⅰ（）的MIMO系统对应BPSK、QPSK和16QAM的复杂度比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检测算法 | BPSK | QPSK | 16QAM |
| ML（=8） | 18432 | 4.7186e+7 | 3.0924e+12 |
| ZF-OSIC（=0） | 8864 | 8864 | 8864 |
| 改进算法(=1) | 5772 | 5776 | 5800 |
| 改进算法(=2) | 3604 | 3676 | 5116 |
| 改进算法(=3) | 2196 | 2868 | 51252 |
| 改进算法(=4) | 1472 | 6272 | 1.3119e+7 |
| 改进算法(=5) | 1544 | 31304 | 3.1458e+8 |
| 改进算法(=6) | 2956 | 172300 | 7.0464e+9 |
| 改进算法(=7) | 7268 | 917604 | 1.5032e+10 |

表Ⅱ（）的MIMO系统对应BPSK、QPSK和16QAM的复杂度比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检测算法 | BPSK | QPSK | 16QAM |
| ML（=16） |  |  |  |
| ZF-OSIC（=0） | 124544 | 124544 | 124544 |
| 改进算法(=1) | 99924 | 99928 | 99952 |
| 改进算法(=2) | 79180 | 79252 | 80692 |
| 改进算法(=3) | 61924 | 62596 | 110980 |
| 改进算法(=4) | 47856 | 52656 | 1.3582e+7 |
| 改进算法(=5) | 36864 | 66624 | 3.1493e+8 |
| 改进算法(=6) | 29268 | 198612 | 7.0467e+9 |
| 改进算法(=7) | 26404 | 936740 | 1.5032e+10 |
| 改进算法(=8) | 32000 | 4.7321e+7 | 3.0924e+11 |

从表Ⅰ和表Ⅱ中的数据可以看出以下几点：（此处和结论待完善）

1. ML（相当于=M）算法的复杂度随着调制阶数的增加而急剧增长；
2. OSIC（相当于=0）算法的复杂度不会随调制阶数改变，因为从公式可以看出它只与发送天线和接收天线的个数有关；
3. 在BPSK中，改进算法的复杂度都小于OSIC，QPSK中，改进算法的复杂度大部分小于OSIC，而在16QAM中，改进算法的复杂度有一部分小于OSIC，这也是上文所说的该算法减少了OSIC的伪逆操作的同时，避免了ML复杂度的指数增长；

从上面的事实中我们可以得出一些结论，在实际应用中可以作为参考：

1. 在调制阶数高的情况下，应该尽量小一些，即应该将少量的信号层应用ML；
2. 在调制阶数低的情况下，应该尽量大一些，即应该将尽量多的信号层应用ML；

[1]G.J. Foschini, “Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas,” Bell Labs Technical Journal, vol. 1, no.2, pp.41-59, 1996.

[2]P.W Wolniansky, G.J. Foschini, G.D. Golden, R.A. Valenzuela, “VBLAST: An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel,” invited paper, IEEE ISSSE-98 pp.295-300.Pisa, Italy, 1998.

[3]Maung Sann Maw, Suzuki, H., Reduced Complexity Scheme for MIMO Receiver with Combined ZF-OSIC and ML Detection, Computers & Informatics (ISCI), 2012 IEEE Symposium on

[4]Yu C W, Ma H P. A low complexity scalable MIMO detector.[J]. Association for Computing Machinery, 2006.