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，但问题是该如何结合这两种算法。

如上节所述，可以将ML与OSIC两种算法的特点总结如下：

1. OSIC算法性能相对ML一般，复杂度相对ML降低，但由于伪逆操作的存在，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。

在目前已有的改进算法中，有一部分算法是这样的：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。还有一部分算法是这样的：将信号层排序后，前层信号使用ML算法检测，剩余的层使用OSIC算法检测，保证前面的层能完全正确的检测，减少了后面层的误码扩散。如文献[5]，分别取，进行阐述及仿真实验。

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，我们需要减少OSIC算法中的伪逆操作，同时避免ML算法复杂度的指数增长。本节提出一种基于ML的改进的ZF-OSIC算法。其能有效地达到这两点指标，保证在性能改善的同时，有更低的复杂度。

算法首先利用OSIC中的排序公式将信号层按SNR从高到低排序；然后对前面的层信号运用ML进行检测，这样就能保证前面的层完全正确的检测，不会对后面层的信号造成影响，极大地减小后面层的误码传播；对于最后面的层信号，即SNR最低的层也运用ML检测，这样能最大限度地减小后面层的错误率及误码传播，减小低SNR层信号对整体性能的影响；对于中间剩余的层运用OSIC算法，保证整体的复杂度保持较低水平。顾名思义，本算法可以简称为ML-OSIC-ML算法。

该算法可以简单地由下图表示：



算法的整体步骤可以表示如下：

|  |
| --- |
| **ML-OSIC-ML** |
| 3. ,      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，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。因此，怎样决定两端信号层的个数，即和的值，是相当重要的。

**仿真**

**复杂度分析**

下面对该改进算法的复杂度进行分析[6]。

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，ML-OSIC-ML算法复杂度与调制阶数、发送天线和接收天线个数及和有关。

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

表 （）的MIMO系统对应BPSK、QPSK和16QAM的复杂度比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检测算法 | BPSK | QPSK | 16QAM |
| ML | 18432 | 4718592 | 309237645312 |
| ZF-OSIC | 8864 | 8864 | 8864 |
| 改进算法(t1=1,t2=1) | 3588 | 3596 | 3644 |
| 改进算法(t1=1,t2=2) | 2128 | 2204 | 3668 |
| 改进算法(t1=2,t2=1) | 2128 | 2204 | 3668 |
| 改进算法(t1=2,t2=2) | 1200 | 1344 | 4224 |
| 改进算法(t1=1,t2=3) | 1252 | 1928 | 50336 |
| 改进算法(t1=1,t2=4) | 908 | 5712 | 1311336 |
| 改进算法(t1=2,t2=3) | 704 | 1448 | 51272 |
| 改进算法(t1=2,t2=4) | 612 | 5484 | 1312524 |
| 改进算法(t1=3,t2=1) | 1252 | 1928 | 50336 |
| 改进算法(t1=3,t2=2) | 704 | 1448 | 51272 |
| 改进算法(t1=3,t2=3) | 460 | 1804 | 98572 |
| 改进算法(t1=4,t2=2) | 612 | 5484 | 1312524 |

从表中的数据可以看出以下几点：（此处和结论待完善）

1. ML算法的复杂度随着调制阶数的增加而急剧增长；
2. OSIC算法的复杂度不会随调制阶数改变，因为从公式可以刻出它只与发送天线和接收天线的个数有关；
3. 在BPSK、QPSK中，改进算法的复杂度都小于OSIC，而在16QAM中，改进算法的复杂度部分小于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，和应该尽量小一些，即应该将少量的信号层应用ML；
2. 在调制阶数相同的情况下，当和之和相等时。出于复杂度的考虑，和应该尽量相等；
3. 在调制阶数相同的情况下，当和之和相等时。出于性能的考虑， 应该尽量大于，也就是说，ML用于低SNR信号层数要大于高SNR信号层数。

[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]Iqbal, A, Kabir, M.H., Kyung Sup Kwak, Enhanced Zero Forcing Ordered Successive Interference Cancellation Scheme for MIMO System, ICT Convergence (ICTC), 2013 International Conference on

[5]刘丽,汪晋宽,闫冬梅,刘福来, 一种改进的 MIMO 系统串行干扰消除检测算法[J],东北大学学报，2011.4

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