

一种半盲多用户分离智能天线算法研究

王晓湘 彭 媛 杨 洁

北京邮电大学信息工程学院 北京 100876

摘 要: 论文研究了一种半盲智能天线算法。仿真测试了算法性能, 比较了算法对 UTRA TDD 系统和 GSM 系统的性能指标。仿真结果表明算法具有良好的收敛性能, 同时对 UTRA TDD 系统的训练比特长度变化不敏感。

关键词: 智能天线, Toeplitz 矩阵, UTRA TDD

1 引言

文中介绍一种在空间和时间域中把信号序列组合处理的时空方法——有限字母表时空分离叠代的最小二乘法。该算法的基本目标是完成对多天线接收信号的分离、时空均衡和检测。通过利用基本调幅模式的有限字母表星座图和符号矩阵的 Toeplitz 结构, 该算法不用任何子空间的估计, 直接把检测信号样本对应到已知的有限域的星座图上。由于利用了已知的训练比特对信道估计, 因此算法是一种半盲算法。向有限字母表星座图上的映射通过采用空域和时域中联合的特殊构造矩阵实现, 和子空间方法相比, 该算法计算复杂度低, 收敛速度快。

2 信号模型

一个具有 M 个天线子的天线阵列收到 K 个用户信号 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ …… $S_K(t)$ 的情况下, 接收信号 (用符号速率抽样) 可写成是希望的 k 用户信号以及噪声及干扰项的和。

$$\begin{aligned} x(n) &= \sum_{l=0}^{L-1} h_{kl} s_k(n-l) + \sum_{k_1 \neq k} \sum h_{k_1 l} s_{k_1}(n-l) + v(n) \\ &= \sum_{l=0}^{L-1} h_{kl} s_k(n-l) + i_k(n) \end{aligned} \quad (1)$$

其中干扰项 $i_k(n)$ 包括同信道干扰和噪声。每个 h_{kl} 矢量的元素记为 $h_{nk,l}$ 的, 它描述的是第 k 个信源和第 n 个天线元素在第 l 个延时中的单个信道。符号 L 表示信道的最大长度。通过收集大于 N 个符号周期的数据, 数据矩阵 X 能方便地记为矩阵形式

$$X = H_k S_k + I_k \quad (2)$$

其中,

$$S_k = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \ddots & s_{N-1} & s_N \\ s_0 & s_1 & \ddots & s_{N-2} & s_{N-1} \\ \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ s_{-L+2} & s_{-L+3} & \ddots & s_{N-L} & s_{N-L+1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

S_k 是包含了希望得到的用户 k 的发送符号的 Toeplitz 矩阵。 H_k 是相应的 $M \times L$ 维信道响

应矩阵。因此，剩下的估计问题就是用半盲有限域估计法确认第一项（ $H_k S_k$ ）。特定用户的叠代初值使得收敛到相应的希望得到的用户的正确的最小值。在检测到第一个信号后，继续对其他希望得到信号的估计，直到它们所有都被识别。

因为确定初值和叠代都只对一个用户执行，完成对一个用户的估计后，再进行下一用户的估计。这样减少了运算的复杂度，

3 算法部分

算法总的说来分为两步^[1]，第一步是信道响应矩阵的估计，第二步是对发送信号的估计。

首先是关于信道响应矩阵的估计。在接收端根据一定的信号格式提取到训练序列后作为算法的输入，进行一系列的矩阵运算，得到 $H_k^{(r)} = \chi_{stack} \bar{S}_k^{(r)\#}$ ，设置循环变量，在叠代时前后两次结果相同时使其满足条件跳出。

值得注意的是，在我们的仿真中，矩阵的大小与文献[1]有不同。文献[1]中堆叠的矩阵的列数是训练比特的长度或者是信息序列的长度，而我们的仿真实现中矩阵列数 N 为 $N + L_c$ ，其中 N 为训练序列或信息序列的长度，而 L_c 则是天线阵列的天线数。这样的改动在合并时是有好处的。通过图 1，我们能看出其区别。

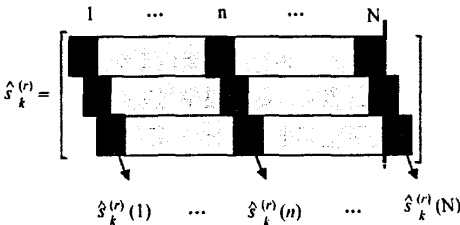


图 1 算法合并时软判决矩阵的状态

文献[1]的矩阵是在图 1 中的虚线处截止的，这样只有矩阵的第一行有完整的训练比特或信息序列，从第二行开始，后面的若干比特就在矩阵的截止位置之外。由于有这样的结构，从 $N - L_c + 1$ 位开始，合并的元素会少于天线阵列的天线数，对这些比特的合并只是收到数据的一部分，合并的结果的性能会略差于前面 $N - L_c$ 位，一定意义上后面的 L_c 位信息误码的可能就变大了。而在我的仿真中，矩阵的每一行都是完整的训练比特或信息序列，而矩阵的其他地方用 0 补齐，这样前面所说的可能带来的误码就可以避免，不会增加系统的误码率。信道估计的流程就如表 1 所示。

其次是对发送信号的其他数据部分的估计。在获得信道响应矩阵后通过 $S = XH^{-1}$ 就可以对发送序列进行估计。这里的求逆和求解信道响应矩阵一样，采用求伪逆的方法。因为 H 在这里有可能是不可逆的，而伪逆 $A^\# = A^H \cdot (AA^H)^{-1} = A^H C^{-1}$ 在 A 可逆时等于 A 的逆矩阵。

表 1 算法流程

要为一个期望用户求解 $\min_{S_k \in FA, H_k} \ X - H_k S_k\ _F$ ，即采用最小均方误差的原则	
输入：	χ_{stack} (经过堆叠后的数据矩阵)
输出：	$S_k \in FA, H_k$ (输入符号向量的估计值)
For $k=1:K$ (K 为希望得到的用户数)	
用堆叠的 midamb1 e 初始化信道响应矩阵 H_k : $H_k^{(0)} = \chi_{stack, TR} S_{k, TR}^{(0)*}$	
叠代直到 $\bar{S}_k^{(r)} = \bar{S}_k^{(r-1)}, H_k^{(r)} = H_k^{(r-1)}$ (其中的 r 为叠代次数)	
a. $\hat{S}_k^{(r)} = H_k^{(r-1)*} \chi_{stack}$	
b. 选择合并的方式(b1,b2 或者 b3, 三者选一)	
b1. $\hat{s}_k^{(r)}(n) = \frac{1}{L_{max}} \sum_{l=1}^{L_{max}} \hat{S}_k^{(r)}(l, l+n-1)$ (等增益合并, EGC)	
b2. 选择矩阵 $\hat{S}_k^{(r)}$ 中最强的一个 (选择性合并, SC)	
b3. $\hat{s}_k^{(r)} = \sum_{l=1}^{L_{max}} \frac{1}{\sigma_l^2} \hat{S}_k^{(r)}(l, l+n-1)$ (最大比合并, MRC)	
c. 映射 $\bar{s}_k^{(r)} = proj_{FA}[\hat{s}_k^{(r)}]$	
d. $\bar{S}_k^{(r)} = \begin{bmatrix} \bar{s}_k^{(r)}(1) & \bar{s}_k^{(r)}(2) & \cdots & \bar{s}_k^{(r)}(n) & \cdots & \bar{s}_k^{(r)}(N) \\ 0 & \bar{s}_k^{(r)}(1) & & & & \\ 0 & 0 & \ddots & & & \\ 0 & 0 & 0 & \bar{s}_k^{(r)}(1) & \cdots & \bar{s}_k^{(r)}(N-L_{max}) \end{bmatrix}$	
e. $H_k^{(r)} = \chi_{stack} \bar{S}_k^{(r)*}$	

4 仿真性能分析

和文献 [1] 应用于 GSM 系统相区别的是, 这里仿真采用了 UTRA TDD 的突发格式, 其中以业务突发 I 型为基本的测试格式, 中间的 512 比特为训练比特, 用于信道估计。由于 UTRA TDD 可以应用相同的频带作为上下行链路的工作频带, 因此对上下行链路来说可以基本认为信道性能是相同, 因此接收端算法对信道的估计值可用反向发射的功率控制, 和自适应调制的模式选择等。仿真信道采用瑞利多径衰落信道中的 Clarke 模型, 径数取 6, 多普勒频移取 100Hz。

(1) 算法收敛性能

仿真算法的收敛情况得到的累积分布函数曲线见图 2。图中是对算法运算 1000 次统计的收敛结果。在信噪比很小 ($SNR = 0dB$) 时, 有 95% 的情况在 10 次叠代以内算法就能够得到最后的解即全局的最小值。随着信噪比的增大, 得到最终解所需要叠代次数逐步减少, 在 SNR 较高 (15~20dB) 时, 通常通过一次叠代就可以得到最终解。可以看出算法收敛速度很快, 只要确定适当的初值, 很快就能收敛于全局最小。

(2) 不同训练序列对算法性能的影响

UTRA TDD 的突发格式共有四种, 而这四种根据训练序列的长度, 又可以分为两类, 即

训练比特长 512 位和 256 位两种。选择了一种 GSM 的突发类型, 训练序列长度为 26 位, 远小于 UTRA TDD 的训练序列长度, 算法在不同训练比特长度情况下的误码性能示于图 3。

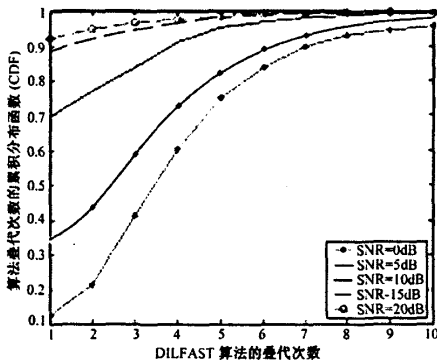


图2 算法迭代次数的累积分布函数

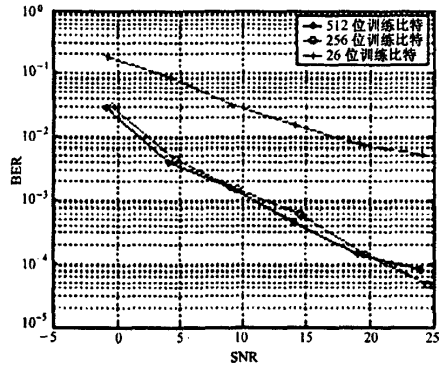


图3 不同长度训练序列的仿真性能

从图中可以看出, 训练序列的长短造成算法估计性能的差别, 训练序列越长, 算法的性能越好。原因主要由于训练序列越长, 算法对于信道估计的效果越好, 从而利用信道估计值进一步得到的数据估计误码率也就越小。但是在训练序列达到 20 位以上时, 再增加训练比特的位数, 不会再显著改变算法的误码性能。在 UTRA TDD 模式中, 训练序列的位数达到了 256 位和 512 位, 比 GSM 增加了一个数量级, 所以, 对图中的两种 UTRA TDD 的突发来说, 性能也比 GSM 的突发好很多。两种 UTRA TDD 的突发格式相比较, 性能的差别不大, 有 512 位训练比特的突发, 性能略好于 256 位训练比特的突发。由仿真结果看出算法很适合在 UTRA TDD 模式中的应用。

5 结论

论文仿真实现了一种半盲智能天线算法, 测试了其在 UTRA TDD 系统中的性能, 对其在不同的合并准则和不同的训练序列长度下的误码性能进行了比较, 比较了 GSM 和 UTRA TDD 的训练比特长度对算法性能的影响。仿真结果表明算法具有良好的收敛性能, 应用于 UTRA TDD 系统较 GSM 系统具有更优的误码性能, 同时对 UTRA TDD 系统的训练比特长度变化不敏感。

参考文献

- 1 Juha Laurila, PHD thesis, "Semi-Blind Detection of Co-Channel Signals in Mobile Communications", 2000.3
- 2 Josep C. Liberti Theodore S. Rappaport 著, 《无线通信中的智能天线 IS-95 和第 3 代 CDMA 应用》. 机械工业出版社, 北京, 2002.8
- 3 龚耀寰. 《自适应滤波——时域自适应滤波和智能天线》. 电子工业出版社, 北京, 2003.7

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>