

文章编号: 1001 - 893X(2012)08 - 1275 - 07

基于改进 EASI 算法的 DS - CDMA 信息码与伪码盲估计*

高 丽, 张天骐, 侯瑞玲, 何丹娜

(重庆邮电大学 信号与信息处理重庆市重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 针对直扩序列码分多址(DS - CDMA)系统多用户检测的问题, 提出了一种基于性能指标(PI)变步长 EASI 算法信息码与伪码盲估计的算法。该算法在比较盲源分离(BSS)和 DS - CDMA 系统模型的基础上, 用自适应的方法估计混合矩阵进而估计出伪码, 并利用分离矩阵分离观测信号从而估计出信息码。另外, 该算法利用 PI 值来调整步长, 使算法收敛速度和稳定性能达到一个理想平衡点。实验结果显示, 该算法具有很好的抗多址干扰(MAI)的能力, 伪码和信息码的误码率分别在 - 10 dB 和 0 dB 时达到 10^{-2} 以下; 对不同用户数, 5 dB 时所有扩频码被完全正确检测的概率几乎都在 80% 以上。

关键词: 直扩序列码分多址; EASI 算法; PI 变步长; 伪码估计; 盲源分离

中图分类号: TN911.7 **文献标志码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2012.08.011

Information and Chip Sequence Blind Estimation for DS-CDMA System Based on Improved EASI Algorithm

GAO Li, ZHANG Tian-qi, HOU Rui-ling, HE Dan-na

(Chongqing Key Laboratory of Signal and Information Processing, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: To solve the problem of the direct sequence code division multiple access (DS - CDMA) system multi - user detection, this paper proposes a variable step - size EASI (Equivariant Adaptive Separation via Independence) algorithm based on PI (Performance Index) for information code and chip sequence blind estimation. Through comparing blind source separation (BSS) and DS - CDMA system model, the algorithm uses adaptive method to estimate the mixing matrix and then estimate the chip sequence. The demixing matrix is used to separate the observation signal, and then estimate the information code. In addition, the algorithm uses evaluation PI to adjust the step - size, which makes convergence speed and stable performance of the algorithm reach an ideal balance. The experimental results show that the algorithm has good resistance ability on multi - access interference (MAI). The bit error rate of the chip sequence and information code is below 10^{-2} in - 10 dB and 0 dB respectively. To different user number, the probability of all PN codes estimated completely correctly is almost 80% above in 5 dB.

Key words: DS-CDMA; EASI algorithm; PI variable step-size; chip sequence estimation; blind source separation

收稿日期: 2012 - 02 - 20; 修回日期: 2012 - 04 - 05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071196, 61102131); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET - 10 - 0927); 信号与信息处理重庆市市级重点实验室建设项目(CSTC2009CA2003); 重庆市杰出青年基金项目(CSTC2011jjjq40002); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2009BB2287, CSTC2010BB2398, CSTC2010BB2409, CSTC2010BB2411)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 61071196, 61102131); The Program for New Century Excellent Talents in University(NCET - 10 - 0927); The Project of Key Laboratory of Signal and Information Processing of Chongqing(CSTC2009CA2003); The Chongqing Distinguished Youth Foundation(CSTC2011jjjq40002); The Natural Science Foundation of Chongqing(CSTC2009BB2287, CSTC2010BB2398, CSTC2010BB2409, CSTC2010BB2411)

1 引言

直接序列码分多址(DS-CDMA)技术作为第三代(3G)移动通信系统的关键技术,具有系统容量大、抗多径衰落能力强、频带利用率高、保密性好等优点^[1]。影响 DS-CDMA 通信系统性能的主要因素是多址干扰(MAI)、多径失真(Multi-Path Distortion, MPD)和远近效应。其中多址干扰是主要的干扰因素,传统克服这种干扰的方法主要是盲多用户检测算法^[2],但是传统的盲多用户检测算法需要知道用户的扩频码信息和定时信息,这就限制了多用户检测算法的使用范围。为了克服这个问题,我们采用盲源分离^[3]的方法。这种方法无需知道用户过多信息,仅仅根据观察到的信号,就可以估计出各用户的扩频序列和比特信息。

目前,把盲源分离算法很好地应用在 DS-CDMA 多用户检测上的文章并不是太多。文献[4]采用 FASTICA 盲源分离的方法,虽然分离效果较好,但是在估计扩频码的时候,利用特征向量矩阵、混合矩阵与扩频序列矩阵之间的关系,建立另一个盲源分离模型,然后利用盲源分离方法来估计扩频码,算法复杂;文献[5]在 MMSE 算法基础上结合 EASI 算法实现用户信息的检测,但要用导频信息对信道进行估计,在估计过程中涉及导频矩阵求伪逆的问题,故算法复杂且只适用于上行链路;文献[6]采用退火法变步长,该步长的指数参数值只能通过经验设定,对于不同信号调节波动范围大,不容易设定且易使算法发散,所以使用受到限制。

基于这种状况,笔者利用 PI 值调节 EASI 盲源分离算法的变步长,然后利用这种盲源分离算法对 DS-CDMA 系统进行扩频码和信息码的盲估计。EASI 算法具有“等变化”的特征,我们利用该点作为扩频码盲估计的基础从而简化扩频码的估计;评价性能指标 PI 的值是用来衡量分离效果的量,我们把它作为调节步长的变化因子从而优化变步长的调节。该算法克服了文献[4-6]中方法的不足,在不知道任何用户信息的情况下,通过简单的比对关系就能实现伪码序列和信息码序列的盲估计,并且达到很好的检测效果。

2 DS-CDMA 系统与盲源分离模型比较

采用 BPSK 调制和使用周期扩频的同步 DS-CDMA 系统^[7]可以表示如下:

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=0}^{M-1} b_k(i) s_k(t - iT) + \mathbf{n}(t), \quad 0 \leq t \leq MT \quad (1)$$

式中, M 为待检测数据帧中每个用户的数据符号; T 为一个符号周期; A_k 为接收信号的第 k 个用户的幅值; $b_k(i)$ 为第 k 个用户发送的第 i 个符号; s_k 为第 k 个用户发送的扩频码, $s_k \in \{-1, 1\}$; $\mathbf{n}(t)$ 是加性高斯白噪声。

对于直接扩频序列,每个用户的信号波形为

$$s_k(t) = \sum_{j=0}^{N-1} c_{j,k} \psi(t - jT_c), \quad 0 \leq t < T \quad (2)$$

其中, N 为扩频码长, $\{c_{j,k}\}_{j=0}^{N-1}$ 为分配给第 k 个用户的特征序列, $T_c = T/N$ 为一个码片周期, $\psi(\cdot)$ 为持续时间 T_c 且具有单位能量的码片波形。

当接收端在接收信号时,先通过一个码片匹配滤波器,再利用码片速率进行采样,把每个符号扩频后的符号写成一个列向量,则其输出对应的第 i 个符号的离散信号表示为

$$\mathbf{r}(i) = \sum_{k=1}^K A_k b_k(i) \mathbf{s}_k + \mathbf{n}(i) = \mathbf{S} \mathbf{A} \mathbf{b}(i) + \mathbf{n}(i) = \mathbf{G} \mathbf{b}(i) + \mathbf{n}(i) \quad (3)$$

其中:

$$\mathbf{s}_k = [c_{1k}, c_{2k}, \dots, c_{Nk}]^T,$$

$$\mathbf{S} = [\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_K],$$

$$\mathbf{b}_1 = [b_1(1), b_1(2), \dots, b_1(M)],$$

$$\mathbf{b}(i) = [b_1(i), b_2(i), \dots, b_K(i)]^T,$$

$$\mathbf{A} = [A_1, A_2, \dots, A_K]^T,$$

$$\mathbf{n}(i) = (n_1[i], n_2[i], \dots, n_C[i])^T.$$

写成矢量形式:

$$\mathbf{R} = \mathbf{G} \mathbf{B} + \mathbf{n} \quad (4)$$

其中:

$$\mathbf{R} = [\mathbf{r}(1), \mathbf{r}(2), \dots, \mathbf{r}(M)],$$

$$\mathbf{G} = [A_1 \mathbf{s}_1, A_2 \mathbf{s}_2, \dots, A_K \mathbf{s}_K],$$

$$\mathbf{B} = [\mathbf{b}(1), \mathbf{b}(2), \dots, \mathbf{b}(M)],$$

$$\mathbf{n} = [n_1, n_2, \dots, n_c]^T.$$

若第一个用户检测接收机权向量表示为 \mathbf{w}_1 ,则用户输出为

$$\hat{b}_1 = \text{sgn}(\mathbf{w}_1^T \mathbf{R}) \quad (5)$$

盲源分离是从若干个观测信号中恢复出无法直接观测到的原始信号的方法。未知信号 $\mathbf{S} = [s(1), \dots, s(M)]$,经未知信道 \mathbf{A} (混合矩阵)的传输后得到观测信号(混合信号) $\mathbf{X} = [\mathbf{x}(1), \dots, \mathbf{x}(M)]$, M 为

源信号中每个信号的数据符号数。

混合模型矢量形式为

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{n} \quad (6)$$

假设找到分离矩阵 \mathbf{W} , 则分离出的源信号为

$$\hat{\mathbf{S}} = \mathbf{W}\mathbf{X} \quad (7)$$

比较 DS-CDMA 系统模型和盲源分离模型可以看出, 它们在形式上具有一致性。

3 EASI 盲分离算法

自然梯度算法是根据信息论的知识, 在信息最大化、互信息最小化、最大似然等准则基础上, 找到一个合适的目标函数, 利用随机梯度的方法生成的, EASI 算法^[8]是在自然梯度算法的基础上进一步完善起来的。该算法在线地实现混合信号的白化, 是一种白化和分离的结合, 它最大的特点就是“等变化”性, 即算法的性能独立于混合矩阵 \mathbf{A} 。

首先对混合信号进行白化, 设白化后矩阵 $\mathbf{z} = \mathbf{Q}\mathbf{X}$, 假设目标函数为

$$\phi(\mathbf{Q}) = \min \left\{ \frac{1}{4} \|\mathbf{R}_z - \mathbf{I}\| \right\} \quad (8)$$

式中, \mathbf{Q} 为白化矩阵, \mathbf{R}_z 为分离出信号的自相关矩阵。故白化信号的迭代算法为

$$\mathbf{Q}(k+1) = \mathbf{Q}(k) - \mu(k) \frac{\partial \phi(\mathbf{Q})}{\partial \mathbf{Q}} = \mathbf{Q}(k) + \mu(k)(\mathbf{I} - \mathbf{R}_z)\mathbf{Q}(k) \quad (9)$$

再把白化后的信号正交归一化, 设正交归一化阵为 \mathbf{U} , 由于 \mathbf{U} 是正交归一化的, 因此希望调节后的系数阵 $\mathbf{U} + \delta\mathbf{U}$ 仍接近正交归一化。经过推导, 在保持 \mathbf{U} 正交归一化的约束条件下, 最合适的下降方向应通过把无约束条件下的相对梯度 $\nabla(\mathbf{U})$ 投影到斜对称的空间来取得。故在自然梯度算法的基础上, 更新方程变成

$$\mathbf{U}(k+1) = \mathbf{U}(k) - \mu(k)[f'(\mathbf{y}_k)\mathbf{y}_k^T - \mathbf{y}_k f'(\mathbf{y}_k^T)]\mathbf{U}(k) \quad (10)$$

式中, $\mu(k)$ 为自适应步长, $f(\cdot)$ 表示非线性函数。

因为分离矩阵 $\mathbf{W} = \mathbf{U}\mathbf{Q}$, 把式(9)、(10)代入化简, 分离矩阵的迭代公式为

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) - \mu(k)[\mathbf{y}_k\mathbf{y}_k^T - \mathbf{I} + f'(\mathbf{y}_k)\mathbf{y}_k^T - \mathbf{y}_k f'(\mathbf{y}_k^T)]\mathbf{W}(k) \quad (11)$$

我们采用 EASI 算法的归一化迭代公式:

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + \mu(k) \left[\frac{\mathbf{I} - \mathbf{y}_k\mathbf{y}_k^T}{1 + \mu(k)\mathbf{y}_k^T\mathbf{y}_k} + \frac{\mathbf{y}_k f'(\mathbf{y}_k) - f(\mathbf{y}_k)\mathbf{y}_k^T}{(1 + \mu(k)|\mathbf{y}_k f'(\mathbf{y}_k)|)} \right] \mathbf{W}(k) \quad (12)$$

当信号的峭度小于 0 (亚高斯信号) 时, 一般选取非线性函数为 $f(y_i) = y_i^3$; 当信号的峭度大于 0 (超高斯信号) 时, 一般选取非线性函数为 $f(y_i) = \tanh(y_i)$ 。其中, $\tanh(\cdot)$ 为双曲正切函数。

4 EASI 算法步长的优化

在 EASI 算法中, 步长的选择对算法具有很大的影响。对于固定步长, 如果步长太大收敛速度快, 但是稳定性很差; 如果步长太小, 则收敛速度太慢, 有时候会达不到分离效果。基于这一点我们改进变步长得到一种基于 PI 变化的步长, 公式为

$$\mu(k) = \alpha(1 - e^{-\beta \cdot \hat{\mathbf{P}}\mathbf{I}(k)}) \quad (13)$$

式中, 参数 $\alpha > 0$ 控制函数的取值范围, 参数 $\beta > 0$ 控制函数的形状。通过仿真实验可以验证, 在一个固定小范围内, 随着 α 、 β 的增大, 自适应算法的收敛速度越来越快。我们采用的性能指标公式为

$$\hat{\mathbf{P}}\mathbf{I}(k) = \sum_i \left\{ \left(\sum_j \frac{|\hat{\mathbf{G}}_k(i, j)|}{\max(|\hat{\mathbf{G}}_k(i, \cdot)|)} - 1 \right) + \left(\sum_j \frac{|\hat{\mathbf{G}}_k(j, i)|}{\max(|\hat{\mathbf{G}}_k(\cdot, i)|)} - 1 \right) \right\} \quad (14)$$

其中全局变量为

$$\hat{\mathbf{G}} = \mathbf{W}\hat{\mathbf{A}} \quad (15)$$

这种变步长具有很好的调整能力。当 PI 的值很大的时候, 变步长取值较大, 从而使收敛速度较快; 而当 PI 达到一个较小值时, 分离效果已经较好, 步长取较小值, 从而提高算法的稳定性。

5 扩频码和信息码的盲估计

DS-CDMA 信号模型和盲源分离系统模型具有形式和意义上的一致性, 可以把 DS-CDMA 信号模型看成盲源分离模型的一种特殊形式。而且 DS-CDMA 系统中, 多个用户同时发送的信息码元是相互独立的, DS-CDMA 模型满足盲源分离模型的条件, 用盲源分离的方法进行盲多用户检测是可行的。

比较式(4)和式(6), 看出混合矩阵 \mathbf{A} 和包含扩频码的矩阵 \mathbf{G} 对应, 而 \mathbf{G} 是由幅值和扩频码组成, 在 DS-CDMA 系统中, 不考虑幅值的大小, 只考虑扩频码的符号, 因此可以用混合矩阵去估计扩频码。

设目标函数为

$$\min(\mathbf{E}\{\|\mathbf{x} - \mathbf{A}\mathbf{y}\|^2\}) \quad (16)$$

利用随机梯度方法可以推算出, 混合矩阵 \mathbf{A} 的近似迭代公式为

$$\Delta \mathbf{A} = \mathbf{A}(k+1) - \hat{\mathbf{A}}(k) = \eta \frac{\partial \|\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{A}}\mathbf{y}(k)\|^2}{\partial \hat{\mathbf{A}}} = \eta \frac{\partial \text{trace}\{[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{A}}\mathbf{y}(k)]^T[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{A}}\mathbf{y}(k)]\}}{\partial \hat{\mathbf{A}}} = -2\eta[\hat{\mathbf{A}}(k) - \mathbf{x}(k)\mathbf{y}^T(k)] \quad (17)$$

因此可得

$$\mathbf{A}(k+1) = \mathbf{A}(k) - \lambda[\hat{\mathbf{A}}(k) - \mathbf{x}(k)\mathbf{y}^T(k)] \quad (18)$$

式中, $\lambda = 2\eta$ 为步长, λ 可为固定也可为变步长, $\text{trace}(\cdot)$ 为迹函数。

由于 EASI 算法的“等变性”, 初始混合矩阵 \mathbf{A} 的选择对收敛性没有直接的影响。因此, 可以得到扩频码的估计值为

$$\hat{\mathbf{c}} = \text{sgn}(\hat{\mathbf{A}}) \quad (19)$$

式中, $\hat{\mathbf{c}}$ 为扩频码的估计, $\text{sgn}(\cdot)$ 为符号函数。

可以把用户观察信息 \mathbf{R} 看成混合观测信号 \mathbf{X} , 则利用分离矩阵同时分离出所有的用户信息 $\hat{\mathbf{S}}$, 从而估计出信息码 $\hat{\mathbf{b}}$, 从中找出所需用户信息码。

用户信息码估计为

$$\mathbf{b} = \text{sgn}(\hat{\mathbf{S}}) = \text{sgn}(\mathbf{W}\mathbf{X}) \quad (20)$$

式中, $\hat{\mathbf{b}}$ 是 $\mathbf{b} = [\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_K]^T$ 的估计。

盲源分离方法分离出来的伪码序列和用户信息码序列具有幅度和排列次序的不确定性, 但是对于扩频码和 DS-CDMA 用户信息而言, 它们所携带的信息存在于信号的符号当中, 所以对它们的排序和幅值可以先不考虑。

可见, 较之传统的盲多用户检测方法需要待测用户的特征波形和定时信息, 盲源分离技术不需要任何扩频码信息, 还可以省略信道估计这一环节, 仅仅利用接收到的多个用户的混合信号就可以对扩频码序列和用户发射信息进行盲估计。

综上, 得到基于 PI 变步长 EASI 盲源分离算法的 DS-CDMA 系统扩频码和信息码盲估计的算法步骤如下:

步骤 1: 根据扩频码长和用户数, 初始化分离矩阵 $\mathbf{W}(0)$ 和混合矩阵 $\mathbf{A}(0)$;

步骤 2: 初始化变步长 μ , 选择合适的变步长系数 α 和 β 。选取非线性函数 $f(\cdot)$, 因为 CDMA 信号一般为亚高斯信号, 故这里采用 $f(y_i) = y_i^3$;

步骤 3: 利用公式(12)更新分离矩阵 $\mathbf{W}(k+1)$;

步骤 4: 利用公式(18)估计混合矩阵 $\mathbf{A}(k+1)$;

步骤 5: 利用公式(14)求出 $\hat{\mathbf{P}}\mathbf{I}(k)$ 的值, 更新变步长 $\mu(k+1)$;

步骤 6: 如果迭代次数小于设置次数, 则返回步骤 3, 否则执行下一步骤;

步骤 7: 循环迭代结束, 得到混合矩阵 \mathbf{A} 和分离

矩阵 \mathbf{W} , 利用公式(19)估计扩频码, 利用公式(20)估计用户信息码。

该算法的处理框图如图 1 所示。

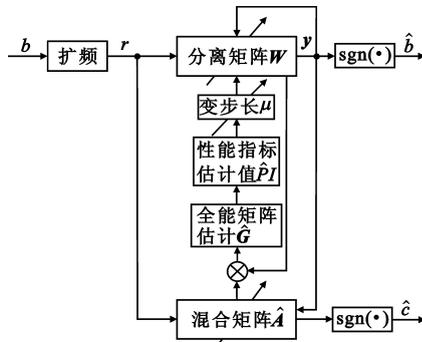


图 1 算法流程图

Fig. 1 Flowchart of the algorithm

6 仿真实验与结果分析

6.1 基于 PI 变步长和固定步长 EASI 算法性能比较

该实验为基于 PI 变步长 EASI 算法和固定步长 EASI 算法对 DS-CDMA 信号进行盲源分离的 PI 性能比较。用户数为 3, 幅值相同都为 10, 扩频码长为 63, 初始化步长相同都为 0.005, 固定步长为 0.005, 传输符号数为 18 000 个, 变步长参数 $\alpha = 0.2, \beta = 0.001$ 。结果如图 2 所示。

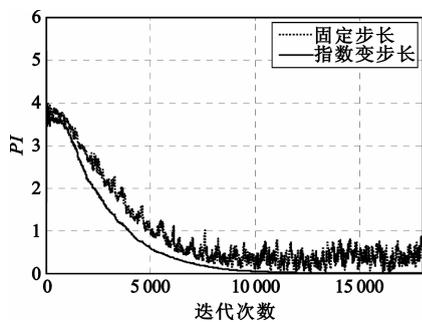


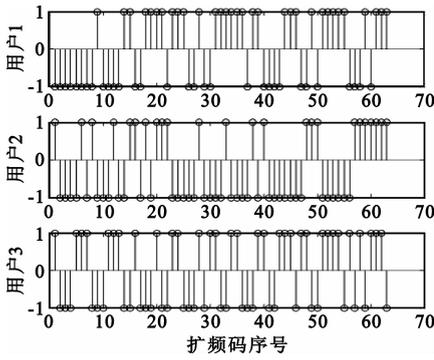
图 2 两种算法的性能比较

Fig. 2 PI comparison between the two algorithms

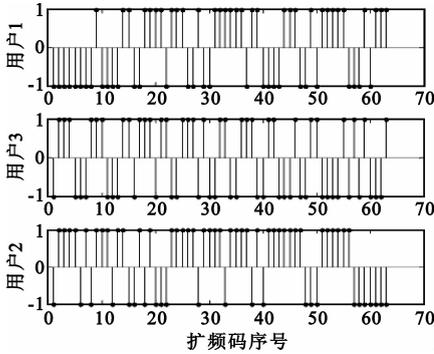
从图 2 中可以看出, 基于 PI 变步长 EASI 算法不仅收敛速度快, 而且稳定性也好。

6.2 扩频估计和信息码估计的仿真

实验 1 用基于 PI 变步长 EASI 算法对 DS-CDMA 信号进行扩频码和用户信息码的估计。仿真时, 初始步长为 0.000 5, 传输符号数 $N = 10\ 000$, 变步长参数 $\alpha = 0.1, \beta = 0.005$, 用户数为 3, 扩频序列为 63 位的 Gold 码, 信噪比为 10 dB。仿真结果如图 3 和图 4 所示。



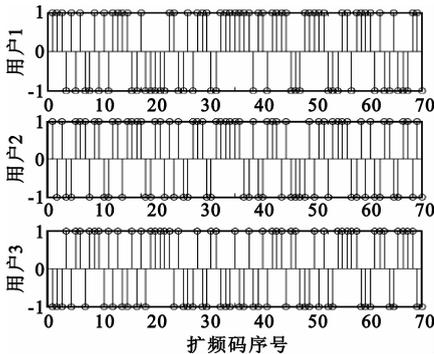
(a) 原扩频码



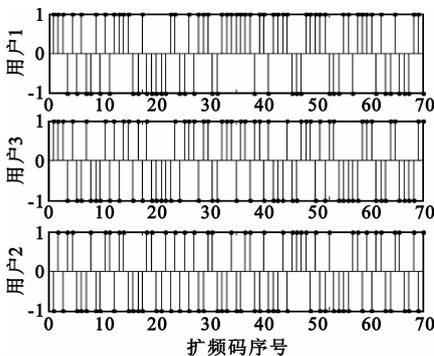
(b) 估计扩频码

图 3 扩频码的估计

Fig.3 Estimation of spread spectrum code



(a) 原用户信息码



(b) 估计用户信息码

图 4 用户信息码的估计(这里信息码只取前 80 位)

Fig.4 Estimation of user information code
(Here information code only takes the top 80)

从图 3 和 4 可以看出,该算法能够检测出扩频码和信息码,只是出现了排列次序的不同和反码的现象,且对于扩频码和信息码来说这种排列次序的不同和反码出现的位置具有对应性。

实验 2 同时对扩频序列与信息符号的误码率进行仿真。用户数为 3,扩频码为 31 位的 Gold 码,处理符号数 5 000,用户幅值皆为 10,初始步长 0.000 1,变步长参数 $\alpha = 0.2, \beta = 0.001$,扩频码和信息码都是和用户 1 进行比较的结果。仿真结果如图 5 所示。

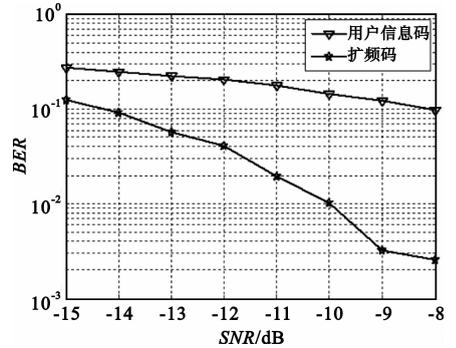


图 5 用户信息码和扩频码的误码率比较

Fig.5 BER comparison between user information code and PN code

由图 5 可知,扩频码和信息码总体趋势一致,但是扩频码的误码率要低,这是因为噪声的影响以及信息码的位数较长容易误码的缘故。当信噪比较高时,扩频码的误码率几乎为 0,信息码的误码率也变得很低。在 -10 dB 的时候,扩频码的误码可以达到 10^{-2} 以下。可见理论模型中对应关系的推证是正确的。

6.3 抗噪声性能仿真

对用户 1 的误符号性能进行仿真。用户数为 3,扩频码分别为 31 位和 63 位的 Gold 码,每次随机处理 10 000 个符号,固定步长为 0.005,基于 PI 变步长 EASI 算法初始步长为 0.005,变步长参数 $\alpha = 0.1, \beta = 0.005$,仿真 100 次求累加平均值,幅度值 $A_1 = A_2 = A_3 = 10$ 。仿真结果如图 6 所示。

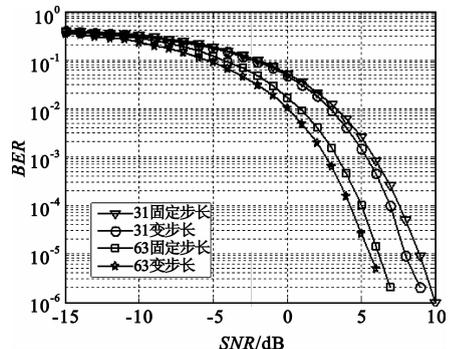


图 6 算法的误码率比较

Fig.6 Algorithm's BER comparison

如图6所示,随着信噪比的增大,误码率越低。相同扩频码长等信噪比的情况下,变步长的误码率要比固定步长的误码率低。不同扩频码长同等条件下,较长扩频码长的误码率要低。扩频码长为63位基于PI变步长条件下,该算法在0 dB时误码率达到 10^{-2} ,5 dB以后误码率几乎为0。故在相同条件下,扩频码长越长,检测性能越好。该算法在低信噪比下也有较小的误码率,且检测性能优良,很具有现实应用价值。

6.4 不同用户数时正确估计扩频码的次数

用户数分别为2、4、6、8的情况下,做200次蒙特卡洛仿真,验证所有用户扩频码都能够完全正确估计出来的次数。用户幅度值 $A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_8 = 10$,处理符号数 $M = 10\,000$,扩频码长为63位的gold码。仿真结果如图7所示。

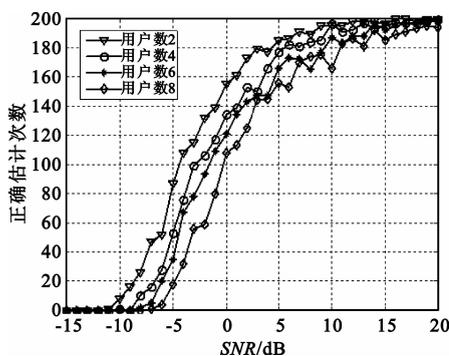


图7 不同用户时正确估计出所有用户扩频码的次数

Fig.7 The right times of all users' PN code estimated for different user number

由图7可见,在信噪比较低的情况下,完全正确估计所有用户扩频码的效果不是太理想,在-10 dB以下,完全正确估计次数几乎为0;随着信噪比的升高,完全正确估计率越来越高,信噪比为5 dB时图中所有用户数的正确率几乎都在80%以上;相同信噪比下,用户数越多正确估计次数越低;两个用户的估计性能最好,10 dB时几乎能正确估计出所有扩频码,8个用户在信噪比为20 dB时,正确检测率仍在95%以上。

上述仿真实验说明,这种算法相对用户较多的情况也具有较高的正确估计能力,并且对不同用户数,调节变步长,使之更加适应算法,能够达到更好的检测效果。算法所支持的用户数目有一个上限,这种算法可以在一定范围内,实现较多用户扩频码的完全正确估计,也就是达到较好的分离效果,因此

在实际应用中有着重要意义。

7 结论

本文通过大量的仿真实验证明了基于PI变步长EASI盲源分离的算法能够对DS-CDMA系统的扩频码和信息码进行盲估计。仿真结果表明该算法具有很好的分离效果,伪码和信息码的误码率分别在-10 dB和0 dB时达到 10^{-2} 以下,且通过调整步长系数,能够实现更多用户的分离,因此该算法在民用和通信侦察中有较广阔的应用前景。

本文的研究尤其在以下方面做了很大的改进:第一,算法采用随机梯度的方法估计混合矩阵,进而直接估计出扩频序列,简单而有效;第二,算法不需要知道任何导频和用户信息,仅仅根据观察信号就可以估计出所有用户的扩频码和符号信息;第三,算法采用PI性能指标来调节变步长,对步长具有更好的跟踪能力和更强的调整能力。盲源分离对DS-CDMA系统的盲估计会出现码排列顺序和幅值的不同,但是这在直扩信号模型中不是我们关心的问题。下一步将对多径异步情况下DS-CDMA多用户信息码和扩频码的盲估计做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 胡观华,李有明.DS-CDMA中一种低复杂度的多用户检测算法[J].宁波大学学报,2010,23(1):34-37.
HU Guan-hua, LI You-ming. A Low Complexity Multi-user Detection Algorithm in DS-CDMA System[J]. Journal of Ningbo University, 2010, 23(1):34-37. (in Chinese)
- [2] 马建仓,牛奕龙,陈海洋.盲信号处理[M].北京:国防工业出版社,2006:210-225.
MA Jian-cang, NIU Yi-long, CHEN Hai-yang. Blind signal processing [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 210-225. (in Chinese)
- [3] Hyvarinen A, Karhunen J, Oja E. Independent Component Analysis[M].周宗潭,董国华,徐昕,等,译.北京:电子工业出版社,2007:108-159.
Hyvarinen A, Karhunen J, Oja E. Independent Component Analysis[M]. Translated by ZHOU Zong-tan, DONG Guo-hua, XU Xin, et al. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007: 108-159. (in Chinese)
- [4] 付卫红,杨小牛,刘乃安.基于盲源分离的CDMA多用户检测与伪码估计[J].电子学报,2008,36(7):1319-1323.
FU Wei-hong, YANG Xiao-niu, LIU Nai-an. Multi-user Detection and Chip sequence Estimation for CDMA system Based on Blind Source Separation[J]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 36(7): 1319-1323. (in Chinese)

- [5] 付卫红,杨小牛,刘乃安,等.基于盲源分离的 CDMA 系统上行链路多用户检测[J].北京邮电大学学报,2009,32(2):111-114.
FU Wei-hong, YANG Xiao-niu, LIU Nai-an, et al. Up-Link Multi-user Detection in CDMA System Based on Blind Source Separation[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009, 32(2): 111-114. (in Chinese)
- [6] 侯瑞玲,张天骐,高永升,等.基于盲源分离的 CDMA 系统信息码与扩频盲估计[J].电视技术,2010,34(10):63-66.
HOU Rui-ling, ZHANG Tian-qi, GAO Yong-sheng, et al. Information Code and Spread Spectrum Code Blind Estimation for CDMA System Based on Blind Source Separation[J]. Video Engineering, 2010, 34(10): 63-66. (in Chinese)
- [7] Malay G, Balu S. Prior ICA Based Blind Multi-user Detection in DS-CDMA Systems [C]//Proceedings of the 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. California, USA: IEEE, 2004: 2155-2159.
- [8] 杨福生,洪波.独立分量分析的原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2006:72-77.
YANG Fu-sheng, HONG Bo. Independent Component Analysis Principle and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 70-77. (in Chinese)

作者简介:

高丽(1985—),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从

事图像、语音/音频、通信和其他信号的盲源分离研究;

GAO Li was born in Heze, Shandong Province, in 1985. She is now a graduate student. Her research concerns image, sound/audio, communication and other signals' blind source separation.

Email: gaoli5106794@126.com

张天骐(1971—),男,四川眉山人,教授,主要研究方向为宽带微弱无线电信号处理、盲信号与信息处理、通信对抗理论与技术;

ZHANG Tian-qi was born in Meishan, Sichuan Province, in 1971. He is now a professor. His research concerns weak wide-band radio signal processing, blind signal and information processing, communication countermeasure theory and technology.

Email: zhangtq@cqupt.edu.cn

侯瑞玲(1985—),女,河南安阳人,2011年获硕士学位,主要研究方向为通信信号的盲处理;

HOU Rui-ling was born in Anyang, Henan Province, in 1985. She received the M. S. degree in 2011. Her research concerns blind processing of communication signal.

Email: hou_rui_ling@163.com

何丹娜(1988—),女,甘肃天水人,硕士研究生,主要研究方向为高动态复杂体制信号的盲检测与盲估计。

HE Dan-na was born in Tianshui, Gansu Province, in 1988. She is now a graduate student. Her research direction is blind detection and estimation of composite signal in high dynamic system.

Email: hedanna886@163.com