

基于非标准约束的常数模检测器

徐长江, 酆广增

(南京邮电学院通信工程系, 南京 210003)

摘要: 本文讨论一种具有非标准约束的常数模准则, 得出一种新的盲多用户检测器. 首先论述该检测具有较强的多址干扰抑制能力, 其性能不受解调信号的接收功率影响. 然后证明具有非标准约束的常数模准则在适当条件下是严格凸的. 由此, 利用随机梯度方法, 给出检测器的盲自适应算法, 并且分析该算法的收敛性. 仿真实例验证了本文的结论.

关键词: 码分多址; 多址干扰; 常数模; 盲多用户检测

中图分类号: TN929.533 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 01-0024-03

Constant Modulus Detectors Based on Non-Canonical Constraint

XU Chang-jiang, FENG Guang-zeng

(Dept. of Telecom. Engineering, Nanjing Univ. of Posts and Telecom., Nanjing 210003, China)

Abstract: The paper considers a constant modulus cost function with non-canonical constraint, and presents a new blind multiuser detector. First, the capability of the detector to suppress multi-access interference (MAI) is analyzed. The results show that the performance of the detector is not affected by the received power of the demodulated signal. Furthermore, we show that the constant modulus cost function with non-canonical constraint is strictly convex under some conditions. Using the stochastic method, a blind adaptive algorithm can be given, and its convergence is analyzed. The simulation examples demonstrate the results.

Key words: CDMA (Code division multiple access); MAI; constant modulus; blind multiuser detector

1 引言

盲多用户检测不需要知道所有用户的特征波形和定时信息, 对于 CDMA 下行链路, 具有特别的诱惑力. Honing M. 等^[1] 基于约束最小输出能量准则, 给出一种盲自适应检测器, 即 MOE 检测器. Madhow U.^[2] 就盲自适应干扰抑制方法作了综述, 指出基于常数模的盲多用户检测有待深入研究.

常数模方法较早应用于盲自适应均衡^[3,4]. 最近 Miguez 等^[5] 对常数模方法抑制多址干扰的能力作了初步探讨, 文献 [6] 进一步分析了常数模方法抑制多址干扰的能力, 并且指出文献 [5] 中的错误. 如同文献 [1], [5] 和 [6] 所分析的检测器均采用标准规范形式. 然而, 这种标准规范检测器的性能受接收信号的幅值影响, 当接收信号幅值小于临界值 $1/\sqrt{3}$ 时, 抑制多址干扰的能力较差^[6].

本文针对标准规范形式存在的上述弱点, 考虑非标准约束的常数模准则, 由此得到的非标准约束检测器具有较强的多址干扰抑制能力, 其性能不受接收信号的幅值影响. 并且可以证明非标准约束的常数模准则在适当条件下是严格凸的, 从而利用随机梯度方法, 可给出检测器的盲自适应算法且该算法是全局收敛的.

2 信号模型

考虑具有 K 个用户的同步基带 DS/CDMA 系统, 接收信号为:

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

其中: A_k 、 $b_k(i)$ 和 $s_k(t)$ 分别为第 k 个用户的接收幅值、符号系列和传输波形; $2M+1$ 为符号系列的长度; T 为传输波形的持续时间; $n(t)$ 是均值为零的白色高斯噪声, 其方差为 σ^2 ; $b_k(i)$ 等概率取值 ± 1 且相互独立的随机变量. 传输波形

$$s_k(t) = \sum_{j=0}^{N-1} c_j^k (t - jT_c), t \in [0, T] \quad (2)$$

其中: $c_j^k = \pm 1, j = 0, \dots, N-1$ 为用户 k 的扩频码, N 为扩频增益; c_j^k 是码片 (chip) 波形; T_c 是码片周期, $T = NT_c$.

接收信号经过码片匹配滤波, 在一个符号间隔内, 形成一个 N 维输出向量:

$$r = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k + n \quad (3)$$

其中: b_k 是相应符号间隔内用户 k 的信息码元; $s_k = (1/\sqrt{N}) [c_0^k, \dots, c_{N-1}^k]^T$ 是用户 k 的归一化特征波形向量, $\{s_k\}$ 线性

向量张成 s_1 的正交补空间. 因此, 对于任一 $w \in R^N$, $w^T s_1 = d$ 当且仅当存在唯一的向量 $x \in R^{N-1}$ 使得 $w = ds_1 + Bx$. 由此, 可将约束优化问题 (5) 转化为下述无约束优化问题:

$$\min_{x \in R^{N-1}} J(x) = J(ds_1 + Bx) \quad (21)$$

利用随机梯度算法, 可得到求解 CM 检测器的盲自适应算法

$$\begin{aligned} \text{算法: } x_n &= x_{n-1} - \mu B^T [(w_{n-1}^T r_n)^2 - 1] (w_{n-1}^T r_n) r_n \\ w_n &= ds_1 + Bx_n, w_0 = ds_1 \end{aligned}$$

其中 $d^2 > 1/3A_1^2$, μ 为步长.

下面分析该算法的收敛性. 记 x_{opt} 为式 (21) 的解, 那么 $w_{opt} = ds_1 + Bx_{opt}$ 是优化问题式 (5) 的解. 定义误差向量 $e_n = x_n - x_{opt}$, 则有

$$e_n = e_{n-1} - \mu B^T [(w_{n-1}^T r_n)^2 - 1] (w_{n-1}^T r_n) r_n \quad (22)$$

两边取期望值得到:

$$E\{e_n\} = E\{e_{n-1}\} - \mu B^T \nabla J(w_{n-1}) \quad (23)$$

其中 $\nabla J(w)$ 为函数 $J(w)$ 的梯度. 由于 $B^T \nabla J(w_{opt}) = 0$, 以及 $w_n - w_{opt} = Be_n$, 则进一步有

$$\begin{aligned} E\{e_n\} &= E\{e_{n-1}\} - \mu B^T [\nabla J(w_{n-1}) - \nabla J(w_{opt})] \\ &= E\{e_{n-1}\} - \mu B^T \nabla^2 J(w_{opt} + Be_{n-1}) B E\{e_{n-1}\} \\ &= [I_{N-1} - \mu B^T \nabla^2 J(w_{opt} + Be_{n-1}) B] E\{e_{n-1}\} \end{aligned} \quad (24)$$

其中 $\nabla^2 J(w)$ 为函数 $J(w)$ 的 Hessian 矩阵. 根据结论 2, 可选取适当的常数 d 使得

$$D = B^T \nabla^2 J(w_{opt} + Be_{n-1}) B > 0 \quad (25)$$

因此, 上述随机梯度算法收敛当且仅当

$$0 < \mu < 2/\lambda_{\max}^D \quad (26)$$

其中 λ_{\max}^D 为矩阵 D 的最大特征值.

证明: 当处理增益 N 较大时, 计算矩阵 B 较为困难. 实际应用可选取 $B = I - s_1 s_1^T$, 相应地有 $x \in R^N$.

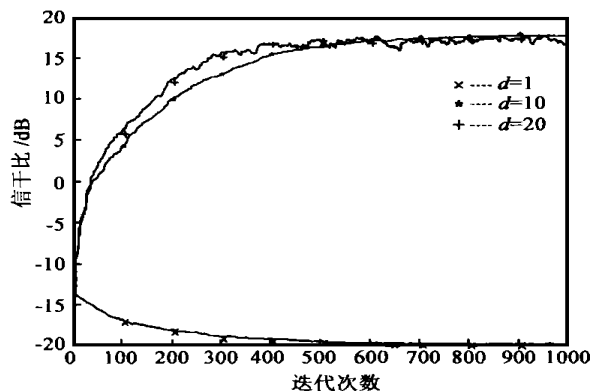


图1 检测器的输出信干比 SIR_1 (dB) ($d=1, 10, 20$)

5 仿真实例

考虑同步 DS/CDMA 系统, 用户数 $K=5$, 处理增益 $N=10$. 用户 1 为所需检测的信号, 其余用户为多址干扰. 用户 1 的接收幅值 $A_1=0.1$, 多址干扰为 20 (dB), 即 $A_k^2/A_1^2=100$ ($k=2 \sim 5$). 信道干扰为高斯白噪声, 信噪比 20 (dB). 针对三个不同取值 $d=1, 10, 20$, 所得仿真结果如图 1 所示. 图中的曲线表示检测器的输出信干比: $SIR_1(n) = E^2\{w(n)^T r\} / \text{Var}\{w(n)^T r\}$.

仿真结果表明: 在低功率接收时, 标准 CM 检测器 ($d=1$) 性能误差; 而非标准 CM 检测器具有较强的干扰抑制能力. 针对较大的值 $d=100$, 我们也做了仿真, 结果与 $d=20$ 时相接近.

6 结论

本文提出非标准约束常数模准则, 由此给出一种新的盲多用户检测器, 即非标准常数模检测器. 该检测器具有较强的多址干扰抑制能力, 其性能不受解调信号的接收功率影响. 非标准约束常数模准则在适当条件下是严格凸的, 这就确保随机梯度算法全局收敛. 因此, 得到检测器的盲自适应算法, 并且给出该算法收敛性的条件.

参考文献:

- [1] Honig M, Madhow U, Verdu S. Blind adaptive multiuser detection [J]. IEEE Trans Information Theory, 1995, 41(4): 944 - 960.
- [2] Madhow U. Blind adaptive interference suppression for direct-sequence CDMA [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(10): 2049 - 2069.
- [3] Godard D. Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems [J]. IEEE Trans. Commun., 1980, 28(11): 1867 - 1875.
- [4] Treichler J. and Agee, B. A new approach to multipath correction of constant modulus signals [J]. IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Proc., 1983, 31(4): 459 - 472.
- [5] Miguez J, Castedo L. A linearly constrained constant modulus approach to blind adaptive multiuser interference suppression [J]. IEEE Communications Letters, 1998, 2(8): 217 - 219.
- [6] 徐长江, 鄧广增. 基于常数模的多址干扰抑制能力分析 [J]. 电子学报 (已录用).

作者简介:

徐长江 博士, 副教授, 目前主要研究兴趣为无线个人通信、信号检测与估计.

鄧广增 教授, 主要从事卫星移动通信、无线个人通信的教学与科研工作.