

An Application of Sign-Error Constant Modulus Algorithm to Blind Adaptive Beamforming*

Cuiqin Zhao, Yunfei Yi, Yanming Duan

Department of Computer and Information Science, He Chi College, Yizhou
Email: zhaocuiqin421@163.com

Received: Dec. 2nd, 2011; revised: Dec. 21st, 2011; accepted: Jan. 7th, 2012

Abstract: In the adaptive beamforming technology, the sign-error constant modulus (CM) algorithm is proposed based on Godard CM algorithm. The coefficient updating formulas are derived using the error of Godard CM algorithm. The advantage of this algorithm is that the multiplication is replaced by a sign change, and if step size is chosen as a negative power of 2, then the multiplication is replaced by a shifting operation that is easy and fast to implement. Computer simulations show that the sign-error CM algorithm has just a little faster convergence and better ability for acquisition and tracking of desired signal. Two CM algorithm are able to cancel interferences arriving from other than the look direction.

Keywords: Constant Modulus Algorithm; Smart Antennas; Array Processing; Adaptive Beamforming

信号 - 误差恒模算法在盲自适应波束形成中的应用*

赵翠芹, 易云飞, 段艳明

河池学院计算机与信息科学系, 宜州
Email: zhaocuiqin421@163.com

收稿日期: 2011 年 12 月 2 日; 修回日期: 2011 年 12 月 21 日; 录用日期: 2012 年 1 月 7 日

摘要: 提出了一种信号 - 误差恒模(CM)算法。用 Godard 恒模算法推导出来的权值迭代公式中的误差用一个变化的信号来代替。信号 - 误差恒模算法的优点是权值计算公式的乘积被一个信号变化代替, 并且如果步长选择为 2 的一个负幂, 那么乘法就被一个移位操作代替, 这很容易快速实现。计算机仿真表明, 信号 - 误差 CM 算法比 Godard CM 算法不仅快速收敛而且跟踪能力强; 两种方法抑制了多径但不会使其消失, 信号 - 误差 CM 算法的抑制能力更强一些。

关键词: 恒模算法; 智能天线; 阵列处理; 自适应波束形成

1. 引言

来自复杂干扰环境的通信信号检测和提取问题是在现代无线通信系统设计中极其重要的问题。用于天线阵的自适应波束形成技术是对多天线系统组成的天线阵列进行数字信号处理的技术。通过对天线阵列适当加权, 波束形成可以利用期望信号和干扰信号

在波达角度等空间特性上的差异, 对期望信号与干扰信号进行隔离, 从而达到增强期望信号并抑制干扰信号, 提高通信容量和质量的目的。该技术被广泛应用于波形分集 MIMO(Multiple Input Multiple Output)通信^[1]、声纳和 MIMO 雷达^[2,3]等系统中。随着大规模、超大规模集成电路和数字信号处理技术的迅速发展, 数字波束形成技术逐渐在移动通信领域中受到人们的关注。3G 标准 TD-SCDMA 采用的关键技术是以波

*资助信息: 河池学院青年课题立项项目(2011A-N008), 广西自然科学基金项目(2011jjB70037), 广西教育厅科研项目(2010QS-N002)。

束形成技术为核心的智能天线技术^[4-8]。恒模算法^[9-12]是 Bussgang 类盲均衡算法中最常用的一种,就是当参数 $P=2$ 时的 Godard 算法。Godard CM 算法优点是代价函数只与接收序列的幅值有关,而与相位无关,故对载波相位不敏感。但是有一个严重缺陷是其收敛速度慢,收敛速度慢使该算法在动态环境下迅速捕获信号时不可用。

基于 Godard CM 算法的缺点,提出了信号 - 误差 CM 算法。对 CM 算法的权值系数进行修正,将权值计算公式的乘积被一个信号变化代替。用 matlab 进行仿真,并与 Godard CM 算法进行比较。给出了经多径到达接收机的信号图、期望信号和采用两种方法的输出信号的比较图和方向比较图,并对仿真结果进行了详细的分析和比较。

2. 数学模型

窄带 M 元阵列系统结构^[5]如图 1 所示,期望信号从 θ_0 角到达,干扰源从 $\theta_1, \dots, \theta_N$ 角到达。含 M 个权值的 M 个阵元天线接收期望信号和干扰源。阵元的 m 的每个接收信号还包括加性高斯噪声。时刻用第 k 次采样表示。因此,加权后的天线阵输出 y 可表示为:

$$\mathbf{y}(k) = \boldsymbol{\omega}^H \mathbf{x}(k) \quad (1)$$

其中 $\boldsymbol{\omega} = [\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_N]^T$ 表示天线阵权值;
 $\mathbf{x}(k) = \mathbf{a}_0 s(k) + [\mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_2 \ \dots \ \mathbf{a}_N] [i_1(k) \ i_2(k) \ \dots \ i_N(k)]^T + \mathbf{n}(k) = \mathbf{x}_s(k) + \mathbf{x}_i(k)$, $\mathbf{x}_s(k)$ 表示期望信号向量;
 $\mathbf{x}_i(k)$ 表示干扰信号向量; \mathbf{a}_i 表示 M 个阵元的天线阵在到达方向 θ_i 上的导向向量。信号 $d(k)$ 是参考信号,与期望信号 $s(k)$ 相同,与干扰信号 $i_n(k)$ 不相关。

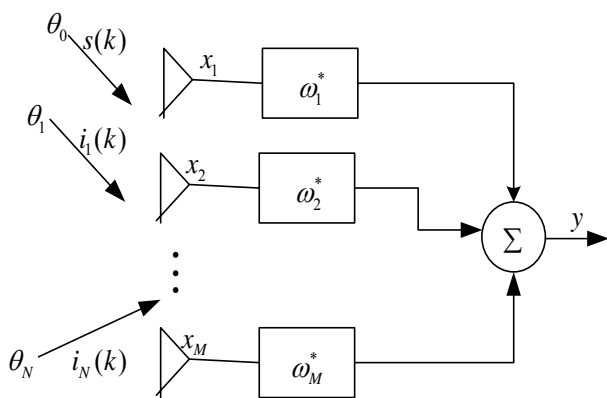


Figure 1. Narrowband adaptive beamforming system
 图 1. 窄带自适应阵列系统

3. 算法分析

无线通信中的许多信号是调频或调相信号,这些信号的幅度理论上应该是恒定的。然而,在频率选择性信道中,由于存在多径,信道会引起信号的幅度变化。多径破坏了信号的恒模特性。如果知道直达信号有一个恒定的模,则可设计算法来修复或补偿原来信号的幅度。Dominique Godard 最先利用 CM 特性构造了一系列盲均衡算法,这些算法应用在二维数据通信系统中。具体来说,Godard 算法应用于调相波形。Godard 使用一个代价函数——阶数 p 的色散函数,求其最小值,从而求出最优权值。Godard 代价函数由下式给出:

$$J(k) = E \left[\left(|y(k)|^p - R_p \right)^2 \right] \quad (2)$$

其中 p 为正整数。Godard 指出,当 R_p 做如下定义后,代价函数的梯度为零:

$$R_p = \frac{E \left[|s(k)|^{2p} \right]}{E \left[|s(k)|^p \right]} \quad (3)$$

其中 $s(k)$ 是输出 $y(k)$ 的零记忆估计。

所产生的误差信号为:

$$e(k) = y(k) |y(k)|^{p-2} \left(R_p - |y(k)|^p \right) \quad (4)$$

如果将输出估计值 $s(k)$ 调整为 1,则信号误差为

$$e(k) = y(k) |y(k)|^{p-2} \left(1 - |y(k)|^p \right) \quad (5)$$

当 $p=1$ 时,信号误差为: $e(k) = y(k) - \frac{y(k)}{|y(k)|}$; 当

$p=2$ 时,信号误差为, $e(k) = y(k) \left(1 - |y(k)|^2 \right)$ 。误差信号可以取代最速下降 LMS 算法中的误差信号,

得权值迭代公式:

$$\boldsymbol{\omega}(k+1) = \boldsymbol{\omega}(k) + 2u e^* \mathbf{x}(k) \quad (6)$$

其中 u 为迭代步长。文献[11]和[12]已证明 $p=1$ 的情况比 $p=2$ 的情况收敛快,我们主要研究 $p=1$ 。我们修改公式(6)的系数,方程为:

$$\boldsymbol{\omega}(k) = \boldsymbol{\omega}(k-1) + 2\mu \text{sgn} [e(k)] \mathbf{x}(k) \quad (7)$$

其中

$$\text{sgn}[e(k)] = \begin{cases} 1 & \text{Re}[e(k)] > 0 \\ 0 & \text{Re}[e(k)] = 0 \\ -1 & \text{Re}[e(k)] < 0 \end{cases} \quad (8)$$

这个算法的优点是乘积被一个信号变化代替，并且如果步长 μ 选择为 2 的一个负幂，那么乘法就被一个移位操作代替，这很容易快速实现。而且，由于 $\text{sgn}(x) = x/|x|$ ，有效步长 $\bar{\mu}$ 与误差的大小成反比。

4. 算法仿真及性能分析

采用两组实验数据对信号 - 误差 CM 算法与 Godard CM 进行性能上的比较。两组数据都是 8 阵元的均匀线性阵列；阵元间距为 1/2 个波长；直达信号的入射角为 30°；第一个多径信号的到达角 -30°，其振幅是直达信号 0.3126(即为 -3 dB)；第二个多径信号的到达角 0°，其振幅是直达信号的 0.1(-10 dB)；初始权值 $\omega(1) = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ ；步长 $\mu = 2^{-2}$ 。第一组实验数据的直达信号为 $s = \cos(2\pi t/T)$ ，周期 $T = 2 \text{ ms}$ ；三个接收信号的波形如图 2 所示，最后一幅图表示合并后的接收波形；图 3 画出了期望信号和分别采用 Godard CM 算法和信号 - 误差 CM 算法所产生的输出信号，从图 3 可以看出，信号 - 误差 CM 算法不仅快速收敛而且跟踪能力强；所得的方向图如图 4 所示。第二组实验数据为：发送长度为 2 μs 的具有 32 个码片的 CDMA 波形，每个码片采样 12 次。路径 2 的附加时延为 71.6 ns 或者 1.3 倍的码片宽度 ($\tau = T/32 = 62.5 \text{ ns}$)；路径 3 为附加时延为 2.9τ ；三个接收信号的波形如图 5 所示，最后一幅图表示合并后的接收波形；所得的方向图如图 6 所示。从图 4 和图 6 可以看出，两种方法抑制了多径但不会使其消失，信号 - 误差 CM 算法的抑制能力更强一些。

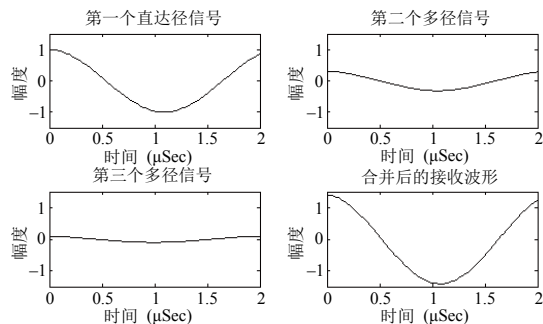


Figure 2. Received signal wave
图 2. 接收信号波形

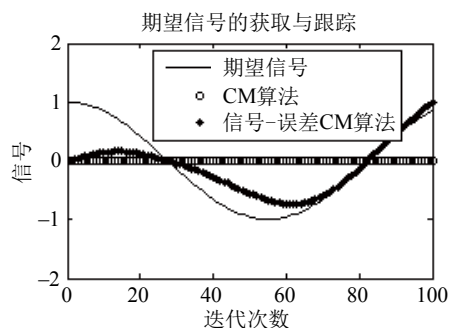


Figure 3. Comparison of acquisition and tracking of desired signal
图 3. 期望信号的获取与跟踪的比较图

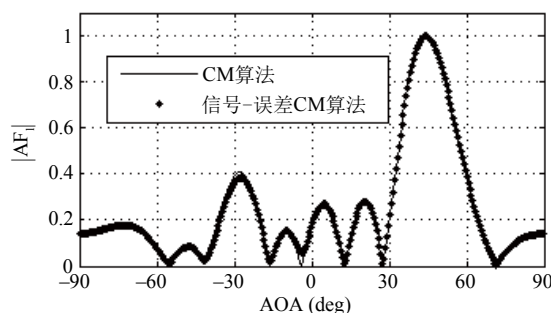


Figure 4. Array factor
图 4. 阵列因子

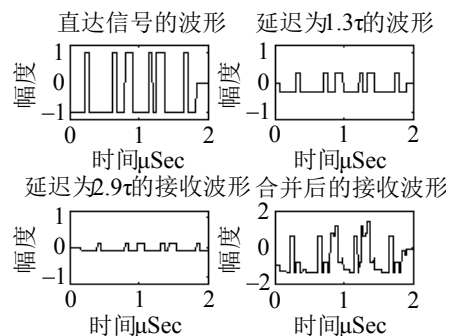


Figure 5. Received signal wave
图 5. 接收信号波形

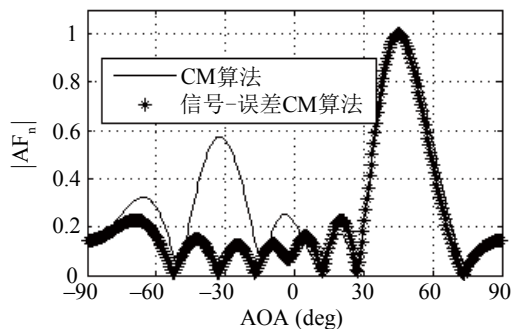


Figure 6. Array factor
图 6. 阵列因子

5. 总结

信号 - 误差 CM 算法的权值的公式中, 乘积被一个信号变化代替, 并且如果步长选择为 2 的一个负幂, 那么乘法就被一个移位操作代替, 这很容易快速实现。而且, 有效步长与误差的大小成反比。仿真结果表明, 信号 - 误差 CM 算法比 Godard CM 算法不仅快速收敛而且跟踪能力强; 两种方法抑制了多径但不会使其消失, 信号 - 误差 CM 算法的抑制能力更强一些。

参考文献 (References)

- [1] J. Lita, T. K.-Y. Lo. Digital beamforming in wireless communications. Boston: Artech House Publishers, 1996.
- [2] E. Fishler, A. Haimovich, R. Blum, et al. MIMO radar: An idea whose time has come. Proceedings of the IEEE Radar Conference, 26-29 April 2004: 71-78.
- [3] D. Rabideau, P. Parker. Ubiquitous MIMO multifunction digital array radar, IEEE signals, systems, and computers. 37th Asilomar Conference, 9-12 November 2003, 1: 1057-1064.
- [4] J. Liberti, T. Rapport. Smart antennas for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA application. New York: Prentice Hall, 1999.
- [5] F. B. Gross. Smart antennas for wireless communications with MATLAB. Columbus: McGraw-Hill, 2005.
- [6] R. Monzingo, T. Miller. Introduction to adaptive arrays, wiley interscience. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- [7] B. Widrow, M. Hoff. Adaptive switch circuits. IRE Wescom, Conversion Record, Part 4: 96-104.
- [8] B. Widrow, P. Mantey, L. Griffiths, et al. Adaptive Antenna Systems. Proceeding of the IEEE, 1967, 55(12): 2143-2159.
- [9] D. N. Godard. Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication system. IEEE Transaction on Communications, 1980, 28(11): 1867-1875.
- [10] M. Larimore, J. Treichler. Convergence behavior of the constant modulus algorithm, acoustics. IEEE International Conference on ICASSP'83, 1983, 31(2): 459-472.
- [11] B. G. Agee. The least squares CMA: A new technique for rapid correction of constant modulus signals. Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '86, Tokyo, 1986: 953-956.
- [12] T. E. Biedka, W. H. Tranter and J. H. Reed. Convergence analysis of the least squares constant modulus algorithm in interference cancellation applications. IEEE Transaction on Signal Processing, 2000, 48(3): 491-501.