

CDMA移动通信信号恒模特性的阵列有源校正算法

熊英, 邓成旺, 唐斌

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】基于CDMA通信信号的恒模特性,提出了一种CDMA移动通信中的天线阵通道误差的有源在线校正算法。在天线阵列附近,发射扩谱序列正交于用户信号的同频辅助信号,用辅助信号对阵列接收信号解扩,采用恒模算法自适应的调节阵列通道滤波器参数,达到补偿阵列误差的目的。该方法克服了常规自校正算法受多径效应的影响和难以收敛不足。计算机模拟证实了该方法的有效性。

关键词 CDMA通信; 通道幅相误差; 恒模; 有源校正

中图分类号 TN991.2 文献标识码 A

CM-Based Array Calibration Algorithm with an Auxiliary Signal Source for CDMA Mobile Communication

XIONG Ying, DENG Cheng-Wang, TANG Bin

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Using the constant modulus (CM) property of the CDMA mobile communication signal, an online calibration algorithm, which calibrates the antenna array channel amplitude and phase errors using an auxiliary signal nearby the antenna array, is presented. Despreading the array receiving signal with the spread spectrum sequence being orthogonal to user's, and the coefficients of the channel FIR filter are then adjusted by CM algorithm adaptively to compensate the errors. Unlike the conventional self-calibration methods, it can be not affected by multi-path, and speeds up the convergence. Simulation demonstrates its validity.

Key words CDMA mobile; channel amplitude and phase errors; constant modulus; auxiliary signal source calibration

天线加工偏差、温度与湿度变化、射频元器件老化及阵元间的电磁互耦效应等因素会引起天线阵列传输的幅度与相位误差。这些误差形成了天线阵应用于移动通信中进一步提高系统性能的瓶颈^[1]。近年来,CDMA系统中的天线阵误差校正广受关注,出现了诸多研究成果^[2-5]。Lee C H等针对异步CDMA系统天线阵分别提出了基于子空间和RLS算法的迭代在线自校正方法^[2-4]。Kobayakawa S等提出了基于NLMS算法的自校正方法^[5]。上述方法都是用多维搜索方法获得模型误差参数的最优估计。自校正方法难以收敛,运算时间长,难适合实际移动通信系统。此外,自校正方法还无法避免多径影响。本文通过在阵列附近设置一个扩谱序列与用户的扩谱序列正交的同频辅助CDMA信号源,并解扩阵列接收信号,提出一种基于CDMA信号恒模特性、利用恒模算法自适应调节通道FIR滤波器系数的有源校正方法。

1 问题描述

假设阵元位置误差可以忽略,通道互耦误差业已通过理论计算和实测予以校正。下面仅考虑对通道与

收稿日期:2004-10-11

基金项目:国家863计划资助项目(2002AA123032)

作者简介:熊英(1967-),女,在职硕士生,工程师,主要从事通信和声纳信号处理方面的研究。

阵元的幅相不一致误差的校正问题。

假设 N 个CDMA用户信号(第 i 个用户信号经历 L_i 条多径)从远场到达 M 阵元的天线列, 基站旁发射的辅助信号也是一个扩谱序列与用户信号正交的CDMA信号, 且以方向 θ_a 直达天线阵, 则天线阵接收信号的基带向量形式可表示为:

$$X(t) = \Gamma \{ \mathbf{a}(\theta_a) b_a(t) c_a(t) + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^{L_i} \alpha_{il} \mathbf{a}(\theta_{il}) b_i(t - \tau_{il}) c_i(t - \tau_{il}) \exp(j\phi_{il}) \} + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

式中 \mathbf{a} 表示阵列方向向量; α_{il} 表示第 i 个用户信号的第 l 条多径的衰落因子; θ_{il} 表示第 i 个用户信号的第 l 条多径的到达方向; τ_{il} 表示第 i 个用户信号的第 l 条多径的时延; $b_i(t)$ 和 $c_i(t)$ 分别表示第 i 个用户的比特信息和扩频码信号, $b_a(t)$ 和 $c_a(t)$ 分别表示辅助信号源的比特信息和扩频码信号; Γ 表示阵列误差矩阵, 且 $\Gamma = \text{diag} \{ \gamma_1 \exp(j\psi_1), \gamma_2 \exp(j\psi_2), \dots, \gamma_M \exp(j\psi_M) \}$, γ_i 和 ψ_i 分别表示第 i 阵元相对第一阵元的幅度和相位误差; $\mathbf{n}(t)$ 表示阵元输出噪声向量, 且协方差矩阵为 $\sigma^2 \mathbf{I}$, σ^2 代表噪声方差, \mathbf{I} 代表 M 阶单位矩阵。

用辅助信号的扩频序列 $c_a(t)$ 对接收信号 $X(t)$ 的第 p 个符号正交解扩, 有:

$$\mathbf{y} = \int_{(p-1)T_b}^{pT_b} X(t) c_a(t) dt = \Gamma \mathbf{a}(\theta_a) G_a b_a^p + \mathbf{n}_a = G_a \Gamma \mathbf{s}_a + \mathbf{n}_a \quad (2)$$

式中 $\mathbf{s}_a = \mathbf{a}(\theta_a) b_a^p$; G_a 是辅助信号的扩频增益; b_a^p 是辅助信号的第 p 个符号; \mathbf{n}_a 是加性白噪声, 且 $E[\mathbf{n}_a \mathbf{n}_a^H] = G_a \sigma^2 \mathbf{I}$ 。

用 G_a 除以式(2)两端, 其离散形式为:

$$\mathbf{y}'(k) = \Gamma \mathbf{s}_a(k) + \mathbf{n}'_a(k) \quad (3)$$

式中 $\mathbf{y}'(k) = \mathbf{y}(k)/G_a$; $\mathbf{n}'_a(k) = \mathbf{n}_a(k)/G_a$ 。

校正的核心问题就是消除 Γ 的影响。

2 校正算法

在接收通道中插入附加的FIR自适应滤波器, 用MMSE准则自适应的调节滤波器参数, 补偿天线阵列的时变误差, 达到校正的目的。因此, 校正的关键就是用辅助信号获取滤波器系数。

对第 m 天线, 令 K 阶FIR滤波器的抽头系数为 w_{m_i} ($i=1, 2, \dots, K$), 滤波器的输入和输出分别是 $y(k)$ 和 $\hat{d}_m(k)$, 则FIR滤波器方程可表示为:

$$\hat{d}_m(k) = \sum_{i=1}^K w_{m_i} y'(k-i+1) = \mathbf{W}_m^H \mathbf{Y}_m^T(k) \quad (4)$$

式中 $\mathbf{Y}_m^T(k) = [y'(k), y'(k-1), \dots, y'(k-K+1)]$; $\mathbf{W}_m = [w_{m_1}, w_{m_2}, \dots, w_{m_K}]^T$ 。

利用CDMA信号的恒模特性, 构造代价函数

$$J(\mathbf{W}_m(k)) = E[|\hat{d}_m(k)|^\alpha - 1]^\beta \quad (5)$$

式中 指数 α 和 β 等于1或2。不同的 α 和 β 可以使算法有不同的收敛性和复杂度。取 $\alpha=1$ 和 $\beta=2$, 代价函数的梯度矢量:

$$\nabla J(\mathbf{W}_m(k)) = \frac{\partial J(\mathbf{W}_m(k))}{\partial \mathbf{W}_m(k)} = -2E[\mathbf{Y}_m^T(k) \left(\frac{\hat{d}_m(k)}{|\hat{d}_m(k)|} - \hat{d}_m(k) \right)^*] \quad (6)$$

多用户环境下, 该代价函数常常存在多个极值点。本文中在解扩运算后只存在辅助信号, 采用最陡下降法就能保证收敛到期望解。因此, 在代价函数最小化原则下, 最优权向量的求取可由最陡下降法得到, 即:

$$\mathbf{W}_m(k) = \mathbf{W}_m(k-1) - \frac{\mu}{2} \nabla J(\mathbf{W}_m(k-1)) \quad (7)$$

式中 μ 是取值为 $0 < \mu < 2 / \sum_{i=1}^K \lambda_i$ 的控制量, $\{\lambda_i\}_{i=1}^K$ 是矩阵 $E[\mathbf{Y}_m^H(k) \mathbf{Y}_m^T(k)]$ 的 K 个最大特征值。

容易知道, 梯度矢量的瞬时估计是无偏估计, 且为:

$$\widehat{\nabla} J(W_m(k)) = -2Y_m^{*T}(k) \left(\frac{\hat{d}_m(k)}{|\hat{d}_m(k)|} - \hat{d}_m(k) \right)^* \quad (8)$$

这样，用梯度矢量的瞬时估计代替式(7)中的期望梯度矢量，有：

$$W_m(k) = W_m(k-1) + \mu Y_m^{*T}(k-1) e_m^*(k-1) \quad (9)$$

式中 $e_m(k-1) = \frac{\hat{d}_m(k)}{|\hat{d}_m(k)|} - \hat{d}_m(k)$ 。从上式可以看出，该方法只包含简单的矩阵乘法运算，避免了传统校正算法中的矩阵求逆和特征分解运算。

3 计算机模拟

假设小区中有10个均匀分布的CDMA用户，每一个用户产生3条多径。基站天线采用四元水平均匀圆阵，半径为半波长。辅助信号的到达方向为 $\theta_a = 30^\circ$ ，扩频增益 $G_a = 256$ 。期望用户信号的多径的到达方向分别为 -40° ， 30° 和 80° 。根据3GPP，考虑用户信息速率为12.2 bps，采样率为4/chip，采样快拍数为1 024。天线阵幅相不一致误差参数的设置如表1所示。

表1 天线阵幅相不一致误差

	幅度/dB	相位/(°)
通道1	0	0
通道2	0.9	50
通道3	0.8	120
通道4	0.7	-45

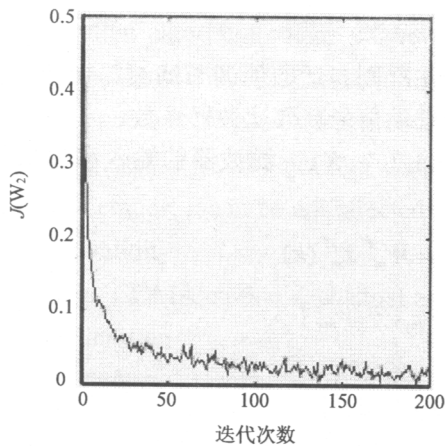


图1 算法收敛性

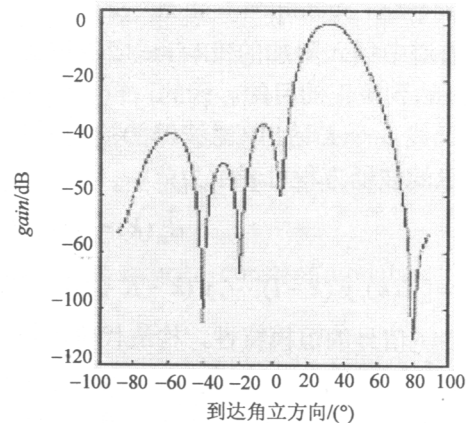


图2 期望信号波束形成

当单位比特能量与噪声功率谱密度之比 $E_b/n_0 = 4$ dB时，图1示出了以第二天线为例的算法收敛性能。可以看出，本文算法利用了信号的恒模特性，具有快速稳健的收敛性。图2示出校正后期望信号的波束形成，且具有较高的精度，有效地补偿了阵列误差的影响，在期望方向形成主波束($\theta = 30^\circ$)，在干扰方向($\theta = -40^\circ$ 和 $\theta = 80^\circ$)能形成较深的零陷。图3示出误码率与 E_b/n_0 的关系。若移动台的速度 $v = 150$ km/h，当 E_b/n_0 4.6 dB时，可达到3 GPP要求的BER 10^{-3} 。

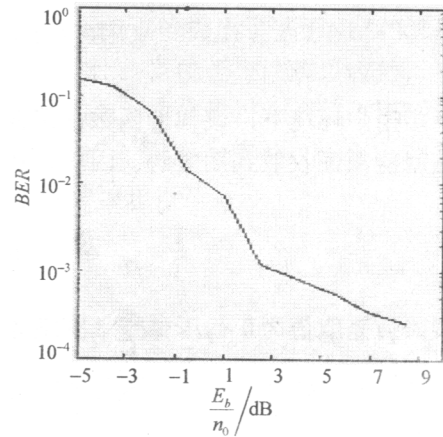


图3 误码率与 E_b/n_0 关系

4 结论

天线阵校正是保障天线阵用于CDMA移动通信系统提高性

能的关键技术之一。本文在解扩辅助信号基础上,基于信号的恒模特性,提出了一种天线阵列的有源在线校正方法。该方法克服了自校正方法难以收敛及易受多径效应影响的缺点。最后计算机模拟证明了该方法是一种有效的天线阵列在线校正方法。

参 考 文 献

- [1] Tsoulos G V, Beach M A. Calibration and linearity issues for an adaptive antenna system[C]. IEEE, VTC'1997, 47th, Phoenix, USA, 1997. 3: 1 597-1 600
- [2] Lee C H, Chun J. A self-calibration algorithm for asynchronous CDMA-based antenna arrays[C]. IEEE, VTS-Fall, VTC'2000, 52nd, Boston, USA, 2000. 5: 2 441-2 445
- [3] Lee C H, Chun J. A subspace-based online calibration algorithm for an asynchronous CDMA-based antenna array[C]. National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, USA, 2000. 146-150
- [4] Lee C H, Kim S, Chun J, et al. An online calibration algorithm for the CDMA adaptive antenna array[C]. IEEE, Signals, Systems and Computers 34th Asilomar Conference, Pacific Grove, CA, 2000. 2: 1 586-1 590
- [5] Kobayakawa S, Tsutsui M, Tanaka Y. A blind calibration method for adaptive array antenna in DS-CDMA systems using an MMSE algorithm[C]. IEEE, VTC-Spring, VTC'2000, 51st, Tokyo, 2000. 1:21-25

编 辑 徐安玉

(上接第295页)

3 结 束 语

本文提出了一种基于OLT和ONU的上行接入算法,并且给出了一种新的,有效的下行分配帧结构。将各ONU下行授权完全封装在一个授权帧中,并且帧中各域唯一的标识各ONU,部分工作由ONU完成,可以提高带宽利用率、降低接入时延。通过给各ONU设定最大分配窗口的方法,可以保证带宽分配的公平性。仿真分析,本算法有较好的带宽利用率和时延特性。

参 考 文 献

- [1] Kramer G, Pesavento G. Ethernet passive optical network (EPON): building a next-generation optical access network [J]. Communications Magazine, IEEE, 2002, 40(2): 66-73
- [2] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. IPACT a dynamic protocol for an ethernet PON [J]. Communications Magazine, IEEE, 2002, 40(2) :74 - 80
- [3] Leland W, Taqqu M, Willinger W, et al. On the self-similar nature of ethernet traffic [J]. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 1994, 2(1): 1-15

编 辑 刘文珍