

文章编号:1672-058X(2012)07-0057-05

TD-SCDMA 系统中阵列天线的校正算法*

王 丽

(淮南师范学院 电气信息工程系,安徽 淮南 232038)

摘 要:针对 TD-SCDMA 系统中阵列天线通道幅度和相位不一致会影响天线系统的性能这一现象,提出了一种在加入参考信号下,结合 J. C. liberti 算法对阵列天线通道不一致性的校正. 算法通过计算参考信号的波达方向角估计值来校正阵列天线中各参数的一致性,并通过波束形成算法,得到通道校正后的和差波束. 仿真结果表明,算法一方面提高了波达方向估计值的准确性,另一方面改善了单脉冲和差波束的瞄准精度.

关键词:TD-SCDMA;阵列天线;通道不一致性;波达方向;和差波束

中图分类号:TN911.22

文献标志码:A

随着 TD-SCDMA 通信系统的发展,其技术日趋成熟,应用更加广泛,阵列天线在 TD-SCDMA 系统中也更加重要,阵列天线信号的性能影响着整个通信系统^[1]. 常见的 DOA 算法及波束形成算法在实际测向系统中很难实现,由于阵列天线各通道的阵元增益、相位及幅度等参数影响着雷达系统的跟踪精度,因此,需要通过研究尽可能校正阵列天线的不一致性. 目前已有很多研究者提出了各种校正算法^[2,3],但都有一定的缺陷需要改进. 此处提出的校正算法通过改善阵列天线通道的不一致性,提高了波达方向估计值的准确性和单脉冲和差波束的瞄准精度.

1 阵列天线信号模型

考虑一个 M 阵元的直线阵天线,假设各阵元的接收性能不存在方向性差异. 若有 L 个 ($L < M$) 个窄带信号源平面波辐射到线阵上,信源方向分别为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L$, 在第 k 次快拍阵列的输出信号向量可表示为^[4]:

$$X(k) = \mu AS(k) + Q(k), k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式(1)中 $X(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_M(k)]^T$ 为 M 个阵元的输出信号向量, $\mu = \text{diag}(1, \gamma_2, \dots, \gamma_L)$ 为通道不一致性矩阵,其 γ_i 是相对第一通道归一化后获得的第 i 个通道传输系数, $A = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_L)]$, $a(\theta_i) = [1, e^{-j(2\pi d/\lambda)\sin(\theta_i)}, \dots, e^{-j(M-1)(2\pi d/\lambda)\sin(\theta_i)}]^T$, $i = 1, 2, \dots, L$, λ 是载波的波长, d 是阵元之间的距离. $S(k) = [s_1(k), s_2(k), \dots, s_L(k)]^T$ 是 L 个平面波的复振幅矩阵. $Q(k) = [q_1(k), q_2(k), \dots, q_M(k)]^T$ 是均值为 0, 方差为 σ^2 白噪声矩阵,且与信号源不相关, N 为快拍次数. 信号源的协方差为:

$$R = E[S(k)S^H(k)] \quad (2)$$

收稿日期:2011-12-06;修回日期:2012-02-21.

* 基金项目:安徽高校省级自然科学基金项目(KJ2011Z347);淮南师范学院科研基金资助项目(2010QNL09).

作者简介:王丽(1983-),女,陕西人,助教,从事无线通信系统研究.

阵列天线输出信号的协方差为:

$$R_{XX} = E[X(k)X^H(k)] = \mu A R A^H \mu^H + \sigma^2 I_M \quad (3)$$

当通道不一致性矩阵 μ 不存在时,对式(3)进行特征分解后,即:

$$R_{XX} = V_S \Sigma_S V_S^H + V_N \Sigma_N V_N^H \quad (4)$$

式中的 V_S 是信号子空间, V_N 是噪声子空间, Σ_S 是信号特征值对角阵, Σ_N 是噪声特征值对角阵. 其中 V_S 与 V_N 正交,即:

$$a^H(\theta) V_N = 0 \quad (5)$$

MUSIC 算法的空间谱函数为:

$$P(\theta) = \frac{1}{a^H(\theta) V_N V_N^H a(\theta)} \quad (6)$$

当通道不一致矩阵 μ 存在时, V_S 与 V_N 不能完全正交,即其空间谱函数需修改为:

$$P(\theta) = \frac{1}{a^H(\theta) \mu^H V_N V_N^H \mu a(\theta)} \quad (7)$$

2 阵列天线通道不一致性的校正算法

算法的步骤:

(1) 考虑到实际接收已知来波方向角的基准信号源,来计算实际初始 DOA 估计值. 计算基准信号的协方差矩阵最大似然估计为:

$$\hat{R}_{XX} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L X(i) X(i)^H \quad (8)$$

对 \hat{R}_{XX} 进行特征值分解,得到实际 DOA 估计值,它是以最小优化搜索实现的,即为:

$$\theta_{\text{MUSIC}} = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} a^H(\theta) \mu^H V_N V_N^H \mu a(\theta) \quad (9)$$

根据波束形成算法^[5,6],阵元 M 归一化接收信号为:

$$x_M(t) = \exp\left[-j \frac{(n-1)2\pi d \sin\theta}{\lambda}\right] \quad (10)$$

阵元 M 加权因子为:

$$w_M = \omega_M \exp(j\alpha_M)$$

产生和波束:

$$B(\theta, \alpha_n) = \sum_{n=1}^M \omega_n \exp\left\{j\left[\alpha_n + \left(j \frac{(n-1)2\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)\right]\right\} \quad (11)$$

为使其方向对准 Θ , $\Theta = [0, 2\pi]$ 是波大方向 (DOA) θ 所有可能取值的集合,应使 $\alpha_n = -\frac{(n-1)2\pi d \sin\Theta}{\lambda}$.

产生两个方位差波束:

$$B(\theta, \alpha_L) = \sum_{n=1}^M \omega_n \exp\left\{j\left[\alpha_{ln} + \left(j \frac{(n-1)2\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)\right]\right\} \quad (12)$$

为使其方向对准 $(\Theta - \Delta\Theta)$,应使 $\alpha_{ln} = -\frac{(n-1)2\pi d \sin(\Theta - \Delta\Theta)}{\lambda}$. 将式(8)和(9)带入式(11)和(12)即

得到通道校正前的单脉冲和差波束.

(2) 利用 J. C. Liberti 算法计算不一致性矩阵 μ 的估计值^[7].

利用第一步得到的 DOA 估计值,以及 J. C. Liberti 算法的解优化问题计算 Γ 的估计值 $\hat{\Gamma}$:

$$\min_{\xi} \sum_{l=1}^M a(\theta_l)^H \hat{\mu}^H V_N V_N^H \hat{\mu} a(\theta_l) = \xi^H \left[\sum_{l=1}^M Q^H(l) V_N V_N^H Q(l) \right] \xi \quad (13)$$

由于注入的参考信号是归一化信号源,因此约束条件为: $\xi^H P = 1, P = [1, 0, 0, \dots, 0]^T$. 最优解为:

$$\xi_{\text{opt}} = \left[\sum_{l=1}^M Q^H(l) V_N V_N^H Q(l) \right]^{-1} P \{ P^T \left[\sum_{l=1}^M Q^H(l) V_N V_N^H Q(l) \right]^{-1} P \}^{-1} \quad (14)$$

因此

$$\hat{\mu} = \text{diag}(\xi_{\text{opt}}) \quad (15)$$

$(\hat{\mu})^{-1}$ 就是不一致性矩阵 μ 的估计值.

(3) 利用得到的校正矩阵 $(\hat{\mu})^{-1}$ 对接收到的信号的协方差矩阵进行校正,即得到:

$$\hat{R}_{XX} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\hat{\mu})^{-1} X(i) ((\hat{\mu})^{-1})^H X(i)^H \quad (16)$$

将校正后的 \hat{R}_{XX} 代入式(11)和(12)得到通道校正后的和差波束.

3 仿真结果与分析

仿真参数设置:采用 $M = 8$ 阵元的平行直线阵列天线系统,阵元间距 $d = 0.5$,其中 $\text{gain} = [1, 5, 0.5, 2.86, 1.96, 1.21, 2.82, 1.12]$, $\text{phase} = j \exp([0, 43, 17, -13, 70, 15, -50, -23])$. 并设有 2 个来波信号,方向分别为 0° 和 60° ;噪声为高斯白噪声,信噪比为 10 dB.

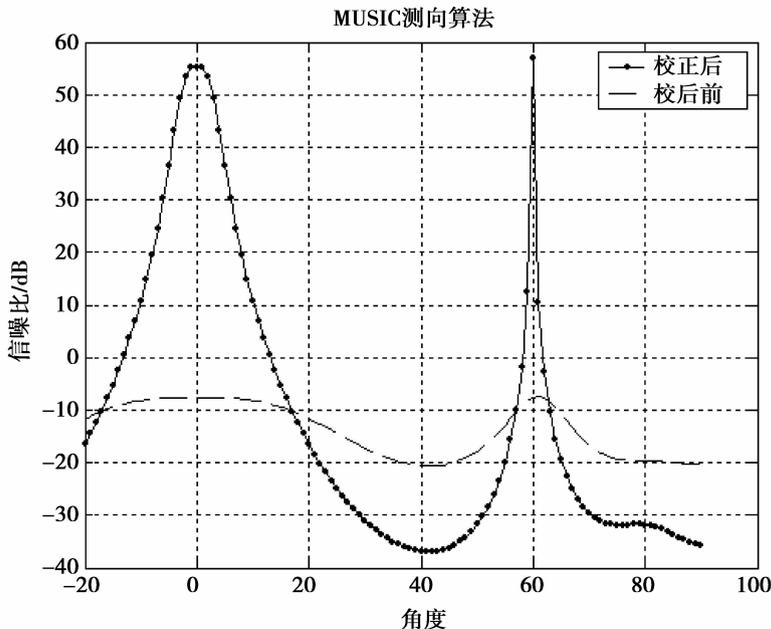


图1 $M = 8, d = 0.5$ 方向来自为 0° 和 60° 的线形阵列方向图

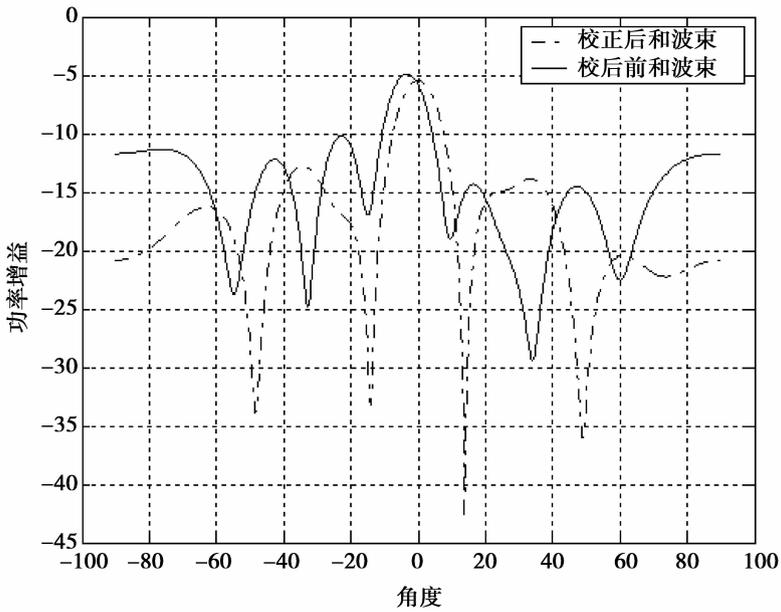


图 2 校正前和校正后的和波束空间谱

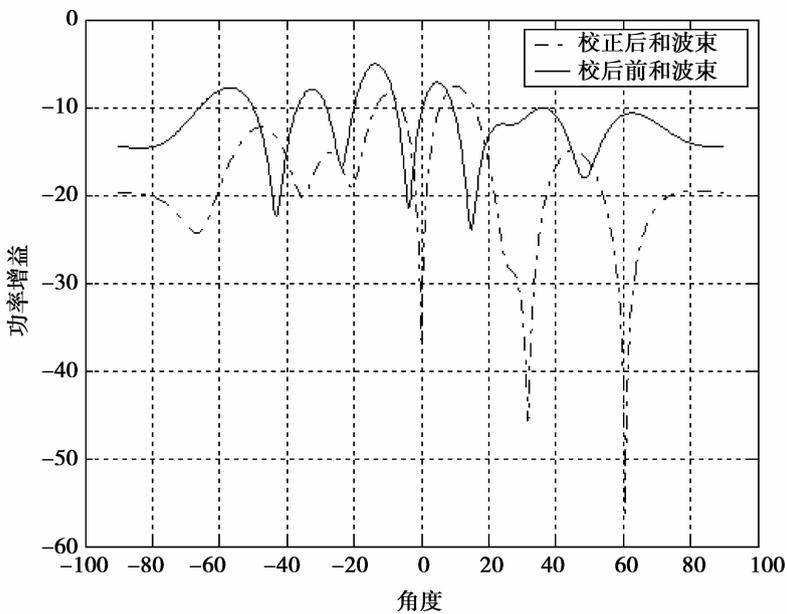


图 3 校正前和校正后的差波束空间谱

图 1 显示了 $M=8, d=0.5$ 方向来自为 0° 和 60° 的校正前和校正后的线形阵列方向图. 从图 1 可以看出, 校正前 MUSIC 测向算法估计出的来波信号方向分别为 -0.5° 和 62.3° , 校正后估计出的来波信号方向比较接近准确值, 其来波方向分别为 0.3° 和 59.8° .

图 2 和图 3 从波束空间算法分别给出了和波束和差波束的空间谱图. 假设跟踪目标方向指向 0° , 图 2 和图 3 显示了校正前由于通道不一致性的存在, 且空间有 60° 的旁瓣干扰, 单脉冲和波束的最大增益方向和差波束的零点方向都已经偏离目标方向 0° , 其中和波束的最大增益方向指向 -3.8° , 差波束的零点方向指向 -3.2° . 经过校正后, 和差波束均已瞄准目标方向 0° , 提高了跟踪精度.

4 总 结

TD-SCDMA 系统中阵列天线的校正算法是基于 J. C. liberti 自适应校正算法提出的优化问题中加入参考信号源这个约束条件而得出的,从仿真结果来看,校正算法不仅能够校正阵列天线的不一致性参数,还能提高波达方向估计值的准确性,而且还能够大大改善单脉冲跟踪目标的跟踪精度.这对 3G 通信系统的自适应阵列天线的应用有一定的参考价值.

参考文献:

- [1] 徐彦琴,张志涌. CDMA 系统在自适应阵列天线的改进算法[J]. 南京邮电学院学报,2001,21(1):46-48
- [2] 周围,周正中,张德民. 相干多径环境下自适应阵列的性能改进[J]. 电波科学学报,2007(3):420-423
- [3] 王布宏,王永良,陈辉. 多径条件下基于加权空间平滑的阵元幅相误差校正[J]. 通信学报,2004(5):166-174
- [4] 高星辉,张承云,常鸿森. 改进 MUSIC 算法对信号 DOA 的估计[J]. 系统仿真学报,2005,17():223-224
- [5] 杨力生,杨士中. 单脉冲多目标跟踪方法与系统:中国,2006101426647[P]. 2007-07-13
- [6] 雷剑梅,陈世勇. 单元波束夹角对和差单脉冲测角性能的影响研究[J]. 电子测量与仪器学报,2007,21(5):29-30
- [7] LIBERTI J C, RAPPAORT T S. Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications [M]. New Jersey:Prentice Hall PTR,1999

Calibration Algorithm for Array Antenna in TD-SCDMA System

WANG Li

(Electrical and Information Engineering Department, Huainan Normal University, Anhui Huainan 232038, China)

Abstract: Because inconsistent channel amplitude and phase of array antenna of TD-SCDMA affects the antenna system performance, array antenna channel inconsistency calibration algorithms based on the combination of the different reference signals and J. C. liberti algorithm were proposed. The parameters uncertainty of array antenna was corrected by computing estimate value of direction- of- arrival estimated- angle of the reference signals, and the sum and difference beam of channel correction was achieved by beamforming algorithm. The simulation results show that the algorithm can greatly improve the DOA estimation accuracy on the one hand, and the sum and difference beam pointing accuracy of single pulse is improved on the other hand.

Key words: TD-SCDMA; array antenna; channel inconsistency; direction- of- arrival; sum and difference beam

责任编辑:李翠薇